



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PSICOLOGÍA
NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA

POTENCIALES RELACIONADOS CON EVENTOS (PRE) DURANTE
TAREAS DE *PRIMING* ARITMÉTICO Y SEMÁNTICO EN NIÑOS
NORMALES Y EN NIÑOS CON TRASTORNOS DE APRENDIZAJE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE DOCTORA EN PSICOLOGÍA

P R E S E N T A:

MTRA. DULCE MARÍA BELÉN PRIETO CORONA

JURADO DE EXAMEN DE GRADO

DIRECTOR: DR. MARIO ARTURO RODRÍGUEZ CAMACHO

COMITÉ TUTORAL: DRA. ERZSÉBET MAROSI HOLCZBERGER

DRA. THALÍA FERNÁNDEZ HARMONY

DRA. THALÍA HARMONY BAILLET

DR. JUAN FELIPE SILVA PEREYRA

DR JORGE BERNAL HERNÁNDEZ

DR. ANDRÉS GONZÁLEZ GARRIDO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Apoyado por CONACYT (Apoyo Integral para la Formación de Doctores en Ciencias, 2007),
DGAPA-UNAM 303507 y CONACYT 59066
Agradecimiento al Programa de Fomento a la Graduación

A DIOS.
A mi madre,
a mi esposo, y a ti que vienes en camino.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a la UNAM.

Agradezco a cada uno de los miembros de mi comité tutorial (Dr. Mario Rodríguez, Dr. Juan Silva, Dra. Erzsébet Marosi y Dra. Thalía Fernández) por todo su apoyo e interés para la realización adecuada de mi investigación.

Agradezco a cada uno de los Doctores que me dieron clase para que mi formación fuera sólida.

Agradezco al Dr. Jorge Bernal, la Dra. Thalía Harmony y el Dr. Andrés González por sus comentarios para que esta tesis estuviera más completa.

Les doy las gracias a todos los miembros del Laboratorio de Neurometría de la FES Iztacala -mi segunda casa- y compañeros de cubículo (Jorge Bernal, Guillermina Yáñez, Mario Rodríguez, Juan Silva, Erzsébet Marosi, Vicente Guerrero, Lourdes Luviano, Josefina Ricardo, Helena Romero, Pedro Ramírez, Elizabeth Ramírez, Memo Samaniego, Miguel Balderas, Vicenta Reynoso) que han hecho que mi estancia aquí y mi trabajo aquí sean muy agradables.

A mi madre, mis hermanos, y toda mi familia por su amor y apoyo.

A los niños que participaron en el estudio.

A los alumnos de la Maestría en Neuropsicología que han estado junto a mí en este proceso.

A todos, GRACIAS.

INDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
TRASTORNOS DEL APRENDIZAJE	10
TRASTORNO DE APRENDIZAJE DE LA LECTURA	10
COEXISTENCIA DE LOS TRASTORNOS DE LA LECTURA Y DEL CÁLCULO	12
COMPONENTES COGNOSCITIVOS Y NEUROPSICOLÓGICOS DEL PROCESAMIENTO ARITMÉTICO EN EL TRASTORNO DEL CÁLCULO ARITMÉTICO.	14
COMPONENTES COGNOSCITIVOS	15
CONOCIMIENTO DE CONTAR	15
CONCEPTO DE NÚMERO	16
DESARROLLO DE ESTRATEGIAS Y MEMORIA	16
PROBLEMAS COGNOSCITIVOS EN LOS NIÑOS CON TCA	19
PROCEDIMIENTOS Y MEMORIA	19
MEMORIA SEMÁNTICA	21
MEMORIA DE TRABAJO	22
CONCEPTOS DE CONTAR	25
VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO	26
COMPONENTES NEUROPSICOLÓGICOS	26
COMPRENSIÓN Y PRODUCCIÓN DE NÚMEROS	27
MECANISMOS SINTÁCTICOS	27
MECANISMOS LÉXICOS	27
PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE LA MEMORIA	28
DEFICIENCIAS NEUROPSICOLÓGICAS EN LOS TCA	29
HALLAZGOS DE LA NEUROCIENCIA COGNOSCITIVA	33
ESTUDIOS CON TÉCNICAS DE IMAGEN CEREBRAL	33
POTENCIALES RELACIONADOS CON EVENTOS (PRE)	39
PRE Y PRIMING SEMÁNTICO	41
PRE Y ARITMÉTICA	41
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	49
OBJETIVOS	51

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	51
HIPÓTESIS	52
RELEVANCIA E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.	53
MÉTODO	54
SUJETOS	54
INSTRUMENTOS	54
CRITERIOS DE INCLUSIÓN	55
ESCENARIO	56
PROCEDIMIENTO	57
PARADIGMA PARA OBTENER EL N400 ARITMÉTICO	57
PARADIGMA PARA OBTENER EL N400 SEMÁNTICO	58
OBTENCIÓN DE LOS PRE	61
ANÁLISIS DE DATOS CONDUCTUALES DE LAS TAREAS DE REGISTRO DE PREs	62
ANÁLISIS DE DATOS ELECTROFISIOLÓGICOS	62
ANÁLISIS DE LATENCIA DEL COMPONENTE N400	63
RESULTADOS	65
CONDUCTUALES DE LAS TAREAS DE REGISTRO DE PRE	65
MEDIDAS ELECTROFISIOLÓGICAS	66
DESCRIPCIÓN DE LOS PRE	66
TAREA ARITMÉTICA	66
ANOVA-MIXTO DE 5 VÍAS	66
ANOVA-MIXTO DE 3 VÍAS	67
ANÁLISIS DE LATENCIAS	70
TAREA SEMÁNTICA	71
ANOVA-MIXTO DE 5 VÍAS	71
ANOVA-MIXTO DE 3 VÍAS	71
ANÁLISIS DE LATENCIAS	73
DISCUSIÓN	76
CONDUCTUAL (DATOS NEUROPSICOLÓGICOS)	76
RESPUESTAS ELECTROFISIOLÓGICAS	77
PRIMING ARITMÉTICO EN NIÑOS	77
DIFERENCIAS EN EL EFECTO N400 ARITMÉTICO Y SEMÁNTICO ENTRE LOS NIÑOS LECTORES NORMALES Y LOS NIÑOS CON TL/CA	79
CONCLUSIÓN	81

RESUMEN

De acuerdo al DSM-IV-TR, el trastorno de lectura a menudo se asocia con el trastorno en la aritmética o con deficiencias en ésta. La comorbilidad de ambos trastornos en un gran porcentaje de niños puede reflejar una deficiencia en la recuperación de la información de la memoria semántica, ya que las palabras y los datos aritméticos parecen organizarse de la misma forma en dicha memoria. El objetivo del presente trabajo fue analizar la recuperación de los datos aritméticos y semánticos por medio de dos tareas de *priming* (aritmético y semántico) utilizando el componente N400 de los Potenciales Relacionados con Eventos (PRE) en dos poblaciones: niños lectores normales (NLN) y niños con trastorno de lectura/deficiencias en el cálculo (NTL/Ca).

Participaron treinta y dos niños de 9 a 12 años, del sexo masculino, todos diestros, con coeficiente intelectual normal ($CI > 85$), la mitad de ellos formó parte del grupo de NLN y la otra al grupo de NTL/Ca. Los niños se clasificaron de acuerdo a las puntuaciones obtenidas en la Batería Neuropsicológica para Niños con Trastornos de Aprendizaje de la Lectura. La tarea de *priming* aritmético consistió en la presentación visual de 112 multiplicaciones simples (del tipo $a \times b = c$), la mitad de las operaciones tenían un resultado incorrecto. Los niños decidieron sobre lo correcto de los resultados apretando una tecla del *mouse*. Para la tarea semántica, se presentaron en forma visual 112 pares de palabras, la mitad de los pares no estuvieron relacionados semánticamente. La tarea de los niños consistió en calificar la relación semántica de cada par de palabras, apretando una tecla del *mouse*. Los PRE se registraron en 31 derivaciones del sistema internacional 10-20 para los resultados de las multiplicaciones en la tarea aritmética y para la segunda palabra de cada par en la tarea semántica.

En la tarea aritmética, los PRE del grupo de NLN mostraron un componente negativo significativamente mayor para los resultados incorrectos en comparación con los correctos, en el rango de latencia de 350-450 ms con una topografía ampliamente distribuida. Este grupo mostró el "efecto N400 aritmético", mientras que el grupo NTL/Ca no mostró diferencias significativas entre una condición y otra, sino una respuesta negativa similar para ambos tipos de condiciones. En la tarea semántica, el grupo de NLN mostró un componente negativo en el rango de 300-500 ms con una topografía ampliamente distribuida y amplitud significativamente mayor para las palabras no-relacionadas que para las relacionadas. En contraste, los NTL/Ca no mostraron diferencias significativas entre una condición y otra, sino respuestas negativas similares para ambos tipos de pares de palabras. Una posible interpretación de los resultados es que el efecto N400 para ambos tipos de tarea en el grupo de NLN puede reflejar una adecuada recuperación de la memoria a largo plazo de ambos tipos de información, mientras que la falta del efecto N400 observado en el grupo NTL/Ca probablemente apunta a una deficiencia en la recuperación de la memoria semántica de información aritmética o lexical. La deficiencia en la búsqueda y recuperación de datos en la memoria a largo plazo es un factor –entre otros– que subyace a las fallas en la lectura y aritmética encontradas en NTL/Ca.

ABSTRACT

According to the DSM-IV-RT, reading disabilities are often associated to arithmetic disabilities. Comorbidity of these symptoms often exists in a great percentage of the people who suffer these developmental disorders, and could reflect a deficit in the retrieval of information from semantic memory. This work aims to analyze semantic and arithmetic facts retrieval through arithmetic and semantic priming using the N400 component of ERPs in two populations: normal readers (NR) and reading/arithmetic disabled (RD/AD) children.

Thirty two right handed male children ($IQ > 85$) of 9-12 years of age (NR=16 and RD/AD=16) were classified into two groups according to a neuropsychological battery in Spanish. Subjects performed two priming tasks (arithmetic and semantic). For arithmetic condition, one hundred and twelve simple multiplications (i.e., $a \times b = c$) were visually presented and half of the operations had incorrect outcomes. Children decided correctness of the outcomes and responded by pressing a mouse key. For semantic condition, 112 word pairs were visually presented and half of the pairs was not semantically related. Children's task was to qualify semantically relatedness of each word pair by pressing a mouse key. ERPs were recorded at 31 derivations of the 10-20 IS to multiplication outcomes for arithmetic task and to the second word of each pair for semantic task.

For arithmetic task, NR group showed a negative component significantly greater for incorrect than for correct outcomes, at latency range of 350-450 ms and widely distributed topographically. This group displayed an "N400 arithmetic effect", while RD/AD group displayed no significant N400 effect at this arithmetic task, showing similar negative responses to both types of conditions. For semantic task, NR group showed a negative component at 300-500 ms, widely distributed topographically and significantly greater for non-related than for related words. In contrast, RD/AD group showed again similar negative responses to both types of words pairs. A possible interpretation of these results is that, the N400 effect to both arithmetic and semantic priming in NR could reflect an adequate retrieval for these different types of information from long-term memory, while a lack of N400 effect observed on RD/AD children probably points out to deficiencies on retrieval any type of information from semantic memory. A search and retrieval deficit from long-term memory is one factor -amongst others- underlying reading and arithmetic failures found in RD/AD children.

TRASTORNOS DEL APRENDIZAJE

El estudio de los trastornos de aprendizaje (TA) reviste importancia debido a su prevalencia a nivel mundial. El Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales en su Tratado Revisado (DSM-IV-TR) (American Psychiatric Association [APA], 2003) incluye dentro de los trastornos de inicio en la infancia, la niñez o la adolescencia a los trastornos de aprendizaje. El DSM-IV-TR menciona que las estimaciones de la prevalencia de dichos trastornos se sitúan entre el 2 y el 10% dependiendo de la naturaleza de la evaluación y de las definiciones aplicadas, también señala que en Estados Unidos se considera que aproximadamente un 5% de los alumnos de escuelas públicas presentan TA. En México, la Dirección General de Educación Especial admite que un 10% de los niños en edad escolar requiere de sus servicios, y que de éstos, dos terceras partes presentan TA, por lo que se puede inferir que la prevalencia se encuentra entre un 6 y 7% de la población escolar general (Fletcher & Kaufman, 1995).

El DSM-IV-TR incluye dentro de los trastornos de aprendizaje a los específicos (de la lectura, del cálculo, de la expresión escrita) y a los inespecíficos. Apunta que “se diagnostican trastornos del aprendizaje cuando el rendimiento del individuo en lectura, cálculo o expresión escrita es *sustancialmente inferior* al esperado para la edad, escolarización y nivel de inteligencia del individuo, según indican pruebas normalizadas administradas individualmente. Suele definirse como *sustancialmente inferior* una discrepancia de más de 2 desviaciones típicas entre rendimiento y coeficiente intelectual -CI-. A veces se acepta una discrepancia menor entre rendimiento y CI (esto es, entre 1 y 2 desviaciones típicas)”. Los TA no se atribuyen a problemas de salud, trastornos emocionales o déficit sensoriales. (APA, 2003).

TRASTORNO DE APRENDIZAJE DE LA LECTURA

Este trabajo se enfoca en el trastorno de aprendizaje de la lectura (TL), ya que es el que tiene mayor prevalencia (Kirtley & Dennis, 2005); ésta se estima entre 5 y 17.5%, constituyendo el trastorno de aprendizaje más común en la literatura americana y europea, que afecta al 80% de los sujetos identificados con TA. En Latinoamérica no se

cuenta con cifras exactas de la prevalencia de dichos trastornos ni mucho menos del trastorno de aprendizaje de lectura en específico (Talero, Espinoza & Vélez, 2005).

La característica esencial de los TL es tener puntuaciones de precisión, velocidad o comprensión de la lectura (evaluadas mediante pruebas normalizadas administradas de manera individual) sustancialmente por debajo de las esperadas dada la edad cronológica, el CI y la escolaridad propia de la edad del niño.

Los niños que presentan TL conforman una población muy heterogénea respecto a las alteraciones que presentan, las cuales pueden ser: problemas en la decodificación de palabras, fallas en la resolución temporal de eventos lingüísticos, patrones anormales de movimientos oculares, problemas en atención sostenida, déficits perceptuales, problemas en el procesamiento fonológico, problemas en el procesamiento sintáctico, problemas en la aritmética, deficiencias en memoria a corto plazo y memoria de trabajo (Ackerman & Dykman, 1995; Silva et al., 1995). Estudios realizados en población mexicana han encontrado que los niños con TL presentan las mismas deficiencias que se señalan en la literatura inglesa (Silva et al., 1995; Yáñez, 2000).

El DSM-IV-TR (APA, 2003) menciona que “el trastorno de la lectura se asocia frecuentemente al trastorno del cálculo y al trastorno de la expresión escrita, siendo relativamente raro hallar alguno de estos trastornos en ausencia de aquel”. Al respecto, Siegel y Ryan (1988) mencionan que muy pocos niños con TL presentan un buen aprovechamiento en el cálculo aritmético. Jordan, Hanich y Kaplan (2003) señalan que es posible que con el tiempo crezca la influencia del trastorno de lectura en la competencia matemática, ya que han encontrado que los niños de segundo año que presentan solo trastorno de lectura, en tercer año desarrollan una debilidad matemática.

Los Criterios Diagnósticos del CIE-10 proponen que “el punto de corte para el diagnóstico del trastorno de lectura debe situarse dos desviaciones estándar por debajo del nivel esperado de lectura. Además, el TL tiene prioridad sobre el trastorno del cálculo, por lo que si se cumplen los criterios diagnósticos de ambas entidades, tan sólo debe efectuarse el diagnóstico de trastorno de la lectura”. Esto representa una diferencia con el DSM-IV-TR, que permite diagnosticar ambos trastornos si se dan a la vez.

De acuerdo a Geary (2004), cuando los niños presentan puntuaciones bajas en el aprovechamiento del cálculo con puntuaciones promedio o mayores de la lectura, se les define como niños con trastornos del cálculo (TCa), mientras que si presentan bajo aprovechamiento tanto en el cálculo como en la lectura, se les denomina niños con trastorno de lectura y cálculo (TL/Ca).

COEXISTENCIA DE LOS TRASTORNOS DE LA LECTURA Y DEL CÁLCULO

Respecto a la relación entre el procesamiento de la lectura y el de la aritmética en niños normales, Muth en 1984 reportó que las diferencias individuales en la habilidad de la lectura dan cuenta del 14% de la varianza en las respuestas correctas para problemas aritméticos puestos en palabras.

Investigadores como Lewis, Hitch y Walker (1994), Ackerman y Dyckman (1995), Fletcher, Forman, Shaywitz y Shaywitz (1999) y Hanich, Jordan, Kaplan y Dick (2001) dan evidencia de que los trastornos del cálculo a menudo van acompañados de trastornos en la lectura. Lewis, Hitch y Walker, en un estudio sobre la prevalencia de las dificultades específicas del cálculo y de la lectura en una muestra de 1206 niños ingleses de 9 a 10 años con inteligencia normal, encontraron que 1.3% de los niños presentaban trastornos del cálculo, un 3.9% presentaban trastornos de la lectura y un 2.3% presentaban la coexistencia trastorno del cálculo/trastorno de la lectura. Gross-Tsur, Manor y Shaley (1996) estudiaron a niños judíos de Estados Unidos y estimaron que del 5 al 8% de estos niños presentaban TCa y muchos presentaban trastornos coexistentes, que incluyeron a los TL y a los trastornos de atención con hiperactividad. Badian (1983) reportó que el 56% de los niños con TL en primaria o secundaria también manifestaban problemas en las habilidades del cálculo, y que el 43% de los niños con trastornos en el cálculo tenían problemas en la lectura.

Gillis, DeFries y Fulker (1992) examinaron la relación entre la lectura y el aprovechamiento en las matemáticas en una muestra de 264 gemelos con TL y 182 gemelos controles, encontraron que la ejecución de la lectura y del cálculo correlacionaron

de manera significativa. El 98% y el 55%, para el grupo TL y el grupo control respectivamente, de la covarianza observada entre la lectura y el cálculo parece deberse a influencias genéticas comunes. En un estudio similar, Thompson, Detterman y Plomin (1991) estimaron que la correlación genética entre la lectura y el cálculo para gemelos mono y dicigóticos era de 0.98.

Se debe tomar en cuenta que no todas las fuentes genéticas que contribuyen al aprovechamiento de la lectura y el cálculo son las mismas, pero algunas de las similitudes observadas entre la ejecución de pruebas de lectura y de cálculo se deben a la implicación de mecanismos genéticos relacionados y a la influencia de mecanismos cognoscitivos comunes (Gillis, DeFries & Fulker, 1992; Geary, 1993; Knopik, Alarcón & DeFries, 1997; Artigas-Pallarés, 2002). Dentro de los mecanismos cognoscitivos comunes, Geary (1993) y Geary y Hoard (2001) mencionan que la coexistencia de ambos trastornos (TCa y TL) en muchos niños quizá esté presente debido a que comparten un déficit neuropsicológico subyacente que probablemente involucre a las regiones posteriores del hemisferio izquierdo y que a nivel cognitivo se manifiesta como *dificultades en la representación y recuperación de la información semántica de la memoria a largo plazo*. Esto podría incluir deficiencias al recuperar datos aritméticos de operaciones simples, dificultades en el reconocimiento de palabras y deficiencias fonológicas en la lectura. Lo anterior tiene relación ya que el conteo involucra la articulación de las palabras de los números, además la asociación en la memoria a largo plazo entre los problemas y las respuestas se debe representar -al menos en parte- en los mismos sistemas de memoria tanto fonéticos como semánticos que apoyan al procesamiento y a la recuperación de las palabras de la memoria a largo plazo (Geary y Hoard, 2001).

La recuperación de datos aritméticos de la memoria a largo plazo y su representación subyacente (los datos aritméticos parecen representarse en una red de memoria asociativa con una propagación de la actividad de los operandos a los resultados relacionados) muestran muchas características similares a la representación y recuperación de información verbal de la memoria semántica (Ashcraft, 1992, 1995; Dehaene, 1992; McCloskey, Harley & Sokol, 1991). En los siguientes apartados se profundizará sobre las deficiencias cognoscitivas y neuropsicológicas del procesamiento aritmético en el trastorno en el cálculo.

COMPONENTES COGNOSCITIVOS Y NEUROPSICOLÓGICOS DEL PROCESAMIENTO ARITMÉTICO EN EL TRASTORNO DEL CÁLCULO ARITMÉTICO.

Las investigaciones realizadas sobre el procesamiento del cálculo desde la perspectiva de la psicología cognoscitiva se han enfocado en el desarrollo normal de dicho procesamiento (Jordan, Levine & Huttenlocher, 1995; Bull & Johnston, 1997) principalmente en las habilidades numéricas de bajo orden (p.e. la representación y recuperación de los datos aritméticos de la memoria a largo plazo) y no en las de alto orden (como las funciones metacognitivas o ejecutivas), ya que éstas últimas afectan la ejecución en una variedad de áreas académicas.

Jordan y Hanich (2000) mencionan que antes de la instrucción formal de primer grado, los niños internalizan principios y procedimientos de conteo básico, suman y restan en una variedad de contextos, resuelven problemas simples y usan una gran cantidad de estrategias para solucionar operaciones aritméticas básicas. Durante la educación formal, los niños empiezan a aprender sumas y restas en el primero y segundo grados, multiplicaciones en el tercer grado, divisiones en el cuarto grado, y decimales y porcentajes en el sexto grado (Mercer, 1987). Por lo anterior, se puede deducir que las habilidades aritméticas más básicas son esenciales para aprender las de alto orden.

Desde la perspectiva neuropsicológica, se ha estudiado el procesamiento numérico en sujetos normales, así como en las discalculias adquiridas (producto de un daño cerebral) y las del desarrollo (déficit en el procesamiento numérico en los niños), descubriéndose dos deficiencias principales en los trastornos del cálculo: 1) La primera se manifiesta por el uso de procedimientos aritméticos inmaduros y por una alta frecuencia de errores de procedimiento. Parece que esta deficiencia se encuentra mediada por un retraso en el desarrollo de la adquisición del conocimiento conceptual que subyace al uso de los procedimientos, aunque no se descartan otros factores que pueden contribuir de manera potencial (p.e. pocos recursos de la memoria de trabajo) (Geary, 1990; Shalev, 2004) y 2) La segunda involucra una dificultad en la representación y recuperación de datos aritméticos básicos de la memoria semántica a largo plazo (Geary, 1990, 1993, 2004). Adicionalmente, se ha encontrado que los niños con TCa también pueden

presentar deficiencias visoespaciales (Rourke, 1993), y dificultades en la lectura y escritura de números (Temple, 1989).

Un criterio típico de diagnóstico de los TCa es presentar puntuaciones menores al percentil 20 ó 25 en pruebas de aprovechamiento de matemáticas, combinadas con una puntuación alta en CI (Geary, Hamson & Hoard, 2000). Sin embargo, puntuaciones de aprovechamiento en cálculo menores a las esperadas para el CI, por sí mismas no indican la presencia de un TCa ya que muchos niños que presentan puntuaciones bajas en pruebas de aprovechamiento en un grado escolar mejoran en el siguiente año. En contraste, los niños que presentan puntuaciones más bajas de lo esperado para su CI en un grado escolar y en los grados académicos sucesivos no mejoran, a menudo presentan un déficit cognoscitivo o de memoria y se les diagnostica con TCa (Geary, 2004).

COMPONENTES COGNOSCITIVOS

CONOCIMIENTO DE CONTAR

En los niños, el entendimiento de los principios asociados con el conteo, parece emerger de una combinación de reglas inherentes y de su experiencia de contar. El contar da un fundamento para el desarrollo de las habilidades aritméticas básicas. Gelman y Gallistel (1978) mencionaron que en los preescolares el contar obedece a cinco principios implícitos: 1) correspondencia uno a uno (una etiqueta es asignada a cada uno de los objetos contados –p. e. uno, dos-), 2) orden estable (el orden de las etiquetas debe ser el mismo en todas las series contadas), 3) cardinalidad (el valor de la palabra final de la etiqueta representa la cantidad de ítems en la serie contada), 4) abstracción (los objetos de algún tipo se pueden juntar y ser contados), y 5) irrelevancia de orden (los ítems se pueden contar en cualquier secuencia).

Además de esas cinco reglas inherentes, los niños hacen inducciones acerca de las características básicas del conteo. Esas inducciones resultan de la creencia de que ciertas características no esenciales del conteo sí lo son. Las características no esenciales incluyen la dirección estándar (el conteo debe empezar en uno de los puntos finales de un

conjunto de objetos) y la adyacencia (creencia incorrecta de que los ítems se deben contar consecutivamente). Desde los 5 años, muchos niños conocen las características esenciales del conteo descritas por Gelman y Gallistel pero también creen que la adyacencia y la dirección estándar son características esenciales (Geary, 2004). Esto último puede indicar que el entendimiento del conteo de los niños pequeños es bastante rígido e inmaduro y está influenciado por la observación de procedimientos de conteo estándar.

CONCEPTO DE NÚMERO

De acuerdo a Miranda y Gil-Llario (2001), en la elaboración del concepto de número se necesitan dos cosas: 1) Dominar la noción de conservación, es decir, la certeza de que el todo se compone por un conjunto de partes que se pueden distribuir en diferentes formas, sin que por ello haya una variación, y 2) Dominar la noción de seriación que se refiere a la capacidad de ordenar elementos de una serie en función de algún criterio. Además, se debe comprender que un número puede ser a la vez ordinal y cardinal (p.e. el "5" puede representar un conjunto –principio de cardinalidad- pero también puede representar el 5to. lugar de una serie –principio de ordinalidad-). Cuando se es capaz de dominar la noción de conservación y la noción de seriación, se dice que se posee una adecuada comprensión del número, la cual abre el camino hacia las operaciones aritméticas.

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS Y MEMORIA

De acuerdo a Shalev (2004) entre los 3 y 4 años los niños pueden contar cuatro ítems, un año más tarde pueden contar hasta 15 y comprender el concepto de número; a los 8 años pueden escribir cifras de 3 dígitos, reconocer símbolos aritméticos, realizar ejercicios elementales de suma y resta, mientras que la eficiencia en la multiplicación y división se adquiere entre los 9 y 12 años.

También McCloskey, Harley y Sokol (1991), Ashcraft (1992) e Imbo y Vandierendonck (2008) mencionan que la mayoría de los humanos a partir de los 9 años recuperan los datos aritméticos de la memoria. Cuando los niños resuelven un problema aritmético, no dependen de una simple estrategia, sino de una mezcla de ellas; por ejemplo, cuando son más expertos en el procesamiento aritmético, primero intentarán recuperar la respuesta de la memoria a largo plazo, pero si no se puede recuperar una respuesta satisfactoria, entonces pueden adivinar o recurrir a una alternativa para resolver el problema. En los primeros años de vida, los niños pueden contar con los dedos o en forma verbal en voz alta. Los procedimientos de conteo usados con mayor frecuencia, ya sea si los niños usan los dedos o no, transitan del menos eficiente (*contar todo* o en inglés *counting all*) al más eficiente (*ir contando* o en inglés *counting on*). El primero involucra contar ambos valores empezando desde el 1, por ejemplo, para la operación de $2+3$, los niños dirán 1, 2, 3, 4, 5, mientras que el segundo procedimiento involucra tomar el valor más grande de la operación y sumar uno a uno el valor más chico hasta llegar al resultado, por ejemplo si se les proporciona un problema como $4+3$ los niños contarán 4, 5, 6, 7. Generalmente, los niños más pequeños o los que tienen menos experiencia utilizarán el primer procedimiento (*contar todo*) y poco a poco, a medida que crecen se dará el cambio al principio de *ir contando* para que –posteriormente– esas estrategias sean abandonadas para recuperar la respuesta de la memoria a largo plazo (Temple & Sherwood, 2002).

Una estrategia alternativa que pueden usar los niños pequeños, es la de mirar sus dedos pero no contarlos, esto les ayuda a recordar la respuesta o descomponer el problema en uno más simple (Temple & Sherwood, 2002). La estrategia de *descomposición* involucra reconstruir la respuesta basándose en la recuperación de una operación parcial, por ejemplo el problema $6+7$, se puede resolver recuperando la respuesta de $6+6$ y luego adicionar 1 a esta operación parcial (Geary, 2004).

El desarrollo de las estrategias cambia al mezclar las existentes o al construir nuevas y abandonar las viejas. Como ya se mencionó, la progresión general de estrategias para resolver una operación, empieza en contar con los dedos, posteriormente contar verbalmente y finalmente recuperar directamente de la memoria. El dominio de la aritmética elemental es alcanzado cuando todos los datos básicos son recuperados sin error de la memoria a largo plazo. El uso de procesos de recuperación es mediado por el

criterio de confianza, este criterio representa un estándar interno en el que el niño calibra la confianza en lo correcto de la respuesta que recuperó de la memoria (Geary & Hoard, 2001). Los niños con un criterio muy riguroso sólo dan la respuesta de la que están muy confiados de que es correcta, mientras que hay niños que tienen un criterio indulgente y recuperan respuestas ya sean correctas o no.

La recuperación es importante porque parece facilitar la adquisición de habilidades aritméticas más complejas y subraya el papel de la memorización de los datos aritméticos básicos. El desarrollo de las representaciones de los problemas y sus respuestas en la memoria lleva a la recuperación directa, y parece basarse en la ejecución de estrategias computacionales (uso de procedimientos de conteo para resolver un problema aritmético). Esto es porque la ejecución de una estrategia computacional lleva al desarrollo de una asociación entre los integrantes del problema y la respuesta generada. Para que suceda lo anterior, se deben activar de manera simultánea en la memoria de trabajo, tanto el primero como el segundo números del problema, así como la respuesta generada (Geary, Brow-Thomas & Yao, 1992). La disponibilidad de recursos de la memoria de trabajo o la capacidad de la memoria numérica están relacionadas con la cantidad de información que puede ensayarse en un lapso de 2 a 3 segundos. En la aritmética, el tiempo de ensayo se debe relacionar con la velocidad de contar, a mayor velocidad de conteo mayor capacidad de memoria (Kail, 1992) y por tanto una mejor ejecución; mientras que con una velocidad de conteo lenta, la representación del primer número puede decaer –olvidarse– antes de que la cuenta sea completada. La transición a los procesos basados en la memoria resulta en una solución más rápida de los problemas individuales y una reducción de las demandas de la memoria de trabajo asociada con la solución de esos problemas (Geary, 2004).

Cooney, Swanson y Ladd (1988) realizaron un estudio para analizar las estrategias usadas en niños de 3ro y 4to grado al resolver problemas de multiplicaciones simples. Los niños resolvieron multiplicaciones de un solo dígito y tenían que dar la respuesta en forma verbal, además se contó el tiempo que tardaban en llegar a la respuesta. También se les pidió que explicaran cómo habían llegado a ésta. Al analizar los reportes verbales de los niños y su latencia de solución del problema, los autores llegaron a la conclusión de que la adquisición de la multiplicación mental comienza con el uso de estrategias de conteo. Los

niños de cuarto grado usaron con mayor frecuencia la estrategia de recuperación de la memoria.

PROBLEMAS COGNOSCITIVOS EN LOS NIÑOS CON TCa

Al inicio de la escolaridad, los niños que presentan dificultades en el aprendizaje del cálculo aritmético, no tienden a caracterizarse por presentar dificultades graves en los conceptos y habilidades aritméticas informales que apoyan el conocimiento del número. En muchos casos su desempeño es cualitativamente similar al de sus compañeros sin problemas de aprendizaje, sin embargo sus deficiencias son importantes en dos áreas nucleares del cálculo formal: presentan problemas para recuperar en forma rápida los datos aritméticos de la memoria a largo plazo (Geary, 2004; Imbo y Vandierendonck, 2008) y tienen pocas habilidades para resolver problemas con textos complejos que implican operaciones básicas (Miranda & Gil-Llario, 2001). De acuerdo a la perspectiva cognoscitiva, además de lo mencionado, los niños con TCa presentan deficiencias en: procedimiento aritmético, uso de conceptos aritméticos, memoria de trabajo y velocidad de procesamiento –en especial la de conteo-.

PROCEDIMIENTOS Y MEMORIA

En un estudio con niños que presentaban deficiencias en el procesamiento aritmético y niños normales de primer grado, donde se compararon la estrategia y el tiempo de solución de problemas de suma simples, Geary (1990) encontró que el grupo de niños con deficiencias en el procesamiento aritmético fue más lento en la solución de los problemas, presentó gran cantidad de errores computacionales y de recuperación de la memoria, y usó frecuentemente estrategias inmaduras de procedimiento que se caracterizaron por errores frecuentes; en muchos niños esas deficiencias parecen desaparecer conforme aumenta su escolaridad. El déficit de recuperación se refleja en los pocos datos recuperados de la memoria y en una alta frecuencia de recuperación de errores.

Geary, Hoard y Hamson (1999) y Geary, Hamson y Hoard (2000) encontraron diferencias consistentes al comparar las estrategias usadas para resolver problemas de suma simple en grupos de niños con deficiencias en la lectura y cálculo (TL/TCa), sólo deficiencias en la lectura, sólo deficiencias en el cálculo y niños normales. En primero y segundo grados, los niños con deficiencias en el cálculo y especialmente los niños con deficiencias en lectura y cálculo cometieron más errores de conteo y usaron procedimientos de *contar todo* con mayor frecuencia que los niños de los otros grupos. Los niños que presentaban solo deficiencias en la lectura y los niños de aprovechamiento normal mostraron cambios del primero al segundo grado, pasando del conteo de dedos al conteo verbal y en grados posteriores al uso de la recuperación. Los niños en los grupos con deficiencias en la lectura y cálculo, y sólo con deficiencias en el cálculo, no mostraron este cambio y contaron con los dedos en ambos grados. Esos patrones se presentaron en varios estudios de niños con TL/Ca, y demuestran que muchos de los mismos déficits son evidentes para niños con TCa pero en mayor medida para los niños TL/Ca (Jordan & Montani, 1997; Jordan & Hanich, 2000). Otros estudios sugieren que al final de la primaria, muchos niños con TL/Ca y con TCa eventualmente abandonan el conteo con los dedos para contar de manera verbal e incrementar sus habilidades en la ejecución de estrategias (Geary, 2004).

El hallazgo más consistente en la literatura es que los niños con TL/Ca o TCa difieren de los niños con aprovechamiento normal en el uso de la *habilidad de recuperación de datos aritméticos* para resolver problemas aritméticos simples y problemas simples puestos en palabras (Hanich, Jordan, Kaplan & Dick, 2001; Miranda & Gil-Llario, 2001; Mussolin y Noël, 2008). A diferencia del uso de las estrategias de contar, parece que la habilidad para recuperar datos aritméticos básicos no mejora sustancialmente a lo largo de la primaria en los niños con TL/Ca y TCa (Mussolin y Noël, 2008) sugiriendo que los problemas de recuperación son el resultado de un déficit cognitivo persistente más que de un retraso en el desarrollo. De acuerdo a Jordan y Montani (1997), a diferencia de los niños normales, los niños con TL/TCa presentan peores ejecuciones que los niños que sólo tienen TCa. Cuando esos grupos de niños recuperan datos aritméticos de la memoria a largo plazo, cometen muchos más errores y a menudo muestran patrones de errores y de tiempos de reacción que difieren de los encontrados en niños más pequeños de aprovechamiento normal (Räsänen & Ahonen,

1995; Fayol, Barrouillet & Marinthe, 1998; Jordan & Hanich, 2000; Geary & Hoard, 2001). Los patrones antes mencionados se han encontrado algunas veces en niños que han sufrido una lesión temprana (antes de los 8 años) en el hemisferio izquierdo o en regiones subcorticales (Ashcraft, Yamashita & Aram, 1992). Este patrón no indica que los niños con TL/Ca o TCa hayan sufrido algún daño cerebral, sino sugiere que los déficits de memoria de muchos de esos niños pueden reflejar los mismos mecanismos subyacentes a los déficits de recuperación asociados con la discalculia (Geary, 2004).

Orrantia, Martínez, Morán y Fernández (2002) compararon la ejecución de niños de 4to a 6to grado con y sin problemas de aprendizaje para resolver sumas simples, encontraron en los niños con dificultades de aprendizaje un déficit específico en la recuperación de la memoria de datos aritméticos, específicamente presentaron estrategias ineficientes y falta de automatización de la recuperación lo que les llevó a consumir recursos cognoscitivos.

Geary et al. (2000) mencionan que las deficiencias de recuperación de la memoria en los niños con TL/Ca o TCa reflejan un trastorno cognoscitivo y no una falta de exposición a los problemas aritméticos, pobre motivación o un bajo CI. Al respecto, Fuchs y Fuchs (2002) mencionan que los niños con TL/Ca, a diferencia de los niños con TCa puros, tienen más problemas cognoscitivos.

En resumen, los niños con TCa, TL y TL/TCa presentan un uso frecuente de estrategias inmaduras de procedimiento, y poca habilidad para la recuperación de datos aritméticos, sugiriendo que los problemas de recuperación son el resultado de un déficit cognoscitivo persistente más que de un retraso en el desarrollo.

MEMORIA SEMÁNTICA

El desarrollo de la aritmética en niños con TCa no siempre supone un cambio de procedimientos para resolver problemas basándose en la memoria. De acuerdo a Geary (2004), este grupo de niños presenta dificultad para almacenar datos aritméticos o para recuperarlos de la memoria a largo plazo. Los problemas para recuperar datos aritméticos

básicos de la memoria a largo plazo pueden considerarse como una característica definitoria de los TCa. Sin embargo, muchos individuos con TCa pueden recuperar algunos datos, encontrándose en algunos casos dificultad para recuperar datos asociados con una operación (p.e. multiplicación) junto con una recuperación intacta de datos asociados con otras operaciones (p.e. suma). A menudo esto sucede cuando las deficiencias de recuperación se asocian con un daño cerebral (Pesenti, Seron & van der Linder, 1994). Los mecanismos cognoscitivos y neuronales que subyacen a estas deficiencias no se entienden aún completamente, pero se tiene la hipótesis de que la solución de problemas aritméticos por medio del conteo se relaciona de manera típica con los sistemas de representación fonético y semántico (p.e. entendimiento de la cantidad asociada con palabras de números). Si se presenta algún trastorno en la habilidad para representar o recuperar información de esos sistemas, en teoría podría resultar en dificultades para formar asociaciones problema-respuesta durante el conteo; las consecuencias podrían incluir dificultades en el aprendizaje de datos aritméticos y en la recuperación de esos datos que se representan en la memoria a largo plazo (Geary, 2004). Estudios recientes de niños con TCa han sugerido una segunda forma de explicar las deficiencias en la recuperación, específicamente trastornos en el proceso de recuperación debidos a dificultades para inhibir la recuperación de asociaciones irrelevantes. Esa falta de inhibición se ha relacionado con un mal funcionamiento de la corteza prefrontal (Bull, Johnston & Roy, 1999). Tomando en cuenta esta hipótesis, Geary et al. (2000) evaluaron a niños con TCa, con TL y con aprovechamiento normal, todos los grupos tuvieron CI normal y se pidió a los niños que sólo usaran la estrategia de recuperación para solucionar problemas de sumas simples; los niños con TCa y los niños con TL cometieron mayor cantidad de errores de recuperación que los niños normales. Los errores más comunes fueron los asociados con la falta de inhibición de la recuperación de asociaciones irrelevantes de uno de los sumandos, por ejemplo el error de recuperación para el problema $6+2$ fue 7 ó 3, que son los números que siguen a 6 y 2, respectivamente, en la secuencia de conteo.

En resumen, los problemas para recuperar datos aritméticos de la memoria a largo plazo se pueden considerar como una característica definitoria de los niños con TCa, TL y TL/TCa.

MEMORIA DE TRABAJO

De acuerdo a Conwan (1988 en Geary, 1993) los niños con TCa tienen un decaimiento más rápido de la información y presentan menos habilidad para monitorear la solución de problemas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la memoria de trabajo no es una habilidad unitaria, involucra varios componentes (ejecutivo central, lazo fonológico, agenda visuoespacial y buffer episódico). Las diferencias en la capacidad de memoria de trabajo entre los niños con TCa y los normales de la misma edad, pueden reflejar diferencias en la arquitectura funcional de la memoria de trabajo (como en el nivel de activación, diferencias en el nivel de práctica y en la velocidad de codificar información de contenido relevante, o diferencias en la habilidad para poner atención y mantener, por ejemplo, el contexto de una oración leída).

Aunque los recursos limitados de la memoria de trabajo de muchos niños con TCa parecen sustentar un déficit más general que uno específico para las matemáticas, dichas limitaciones pueden influir en las habilidades matemáticas de estos niños y ser un factor que incide en los déficit de procedimiento y de recuperación de datos aritméticos básicos de la memoria a largo plazo (Geary, 1990; McLean & Hitch, 1999).

Siegel y Ryan (1989) evaluaron con dos pruebas de capacidad de memoria de trabajo a dos grupos de niños, uno con TCa y el otro grupo con TCa/TL. Las pruebas eran de capacidad de conteo y de retención de oraciones. Los niños con TCa presentaron deficiencias solamente en la prueba de capacidad de conteo, mientras que los niños TCa/TL presentaron puntuaciones bajas en ambos tipos de tareas. Los autores concluyeron que el grupo de niños TCa/TL presentó una deficiencia más general en la memoria de trabajo, mientras que los TCa sólo presentaron deficiencias en un dominio específico de ésta.

McLean y Hitch (1999) evaluaron la memoria de trabajo en niños de 9 años con TCa, los compararon con niños control emparejados en edad y niños control emparejados en habilidad aritmética; los tres grupos contaban con habilidades normales de lectura. Se les aplicó una batería de 10 tareas que evalúan diferentes aspectos de la memoria de trabajo y también se incluían funciones ejecutivas. En comparación con los niños control

emparejados en edad, los niños con TCa tuvieron una adecuada memoria de trabajo fonológica, pero presentaron deficiencias en la memoria de trabajo espacial y en algunos aspectos de las funciones ejecutivas. Cuando compararon a los TCa con los controles emparejados en habilidad, encontraron que los TCa sólo presentaron deficiencias en una tarea diseñada para evaluar el procesamiento ejecutivo de mantener y manipular la información en la memoria a largo plazo (esto se midió con una tarea llamada del ítem perdido donde se daba al niño una suma y se le pedía que completara otra que daba el mismo resultado que la anterior -p.e. $2+3=4+?$ -). Sus resultados mostraron que los niños con TCa presentan dificultades específicas en varios aspectos -pero no en todos- de la memoria de trabajo; éstos fueron principalmente ejecutivos y visuoespaciales. Los autores reportaron además que, algunos niños tienen problemas para consolidar los datos numéricos básicos en la memoria a largo plazo porque la información en la memoria de trabajo decae tan rápido que no permite que se formen asociaciones relevantes de los datos.

Swanson y Beebe-Frankenberger (2004) identificaron los procesos cognoscitivos que subyacen a las diferencias individuales en la memoria de trabajo y a la precisión en la solución de problemas aritméticos en niños de tres grupos de edad (1ro, 2do y 3ro) con y sin TCa, encontraron que los niños más pequeños y los niños con TCa, a diferencia de los niños más grandes y los niños sin TCa, tuvieron ejecuciones deficientes en tareas de memoria de trabajo y de solución de problemas aritméticos puestos en palabras, así como en medidas de cálculo aritmético, lectura, procesamiento semántico, procesamiento fonológico e inhibición. Por medio de un análisis de regresión, encontraron que las medidas de la memoria de trabajo predijeron las soluciones de los problemas puestos en palabras independientemente de las medidas de inteligencia, habilidades de lectura, habilidades en matemáticas, conocimiento de algoritmos, procesamiento fonológico, procesamiento semántico, velocidad, memoria a corto plazo e inhibición. Los resultados apoyan la hipótesis de que en los niños la funcionalidad del sistema ejecutivo de la memoria de trabajo es un predictor importante de la solución de problemas aritméticos. Este estudio también señala la importancia de las habilidades de lectura, de la velocidad de procesamiento, y el acceso a la información que se encuentra en la memoria a largo plazo para la solución de problemas.

En resumen, a diferencia de los niños TCa/TL que presentan una deficiencia más general en la MT, los niños con TCa presentan una deficiencia más específica en aspectos visoespaciales y ejecutivos.

CONCEPTOS DE CONTAR

Geary, Bow-Thomas y Yao (1992) probaron la hipótesis de que muchos niños con TL/Ca tienden a usar procedimientos computacionales inmaduros y por tanto cometen muchos errores computacionales cuando resuelven problemas de sumas, y que esto es el resultado de un retraso en su comprensión de los conceptos de contar. Estudiaron niños de primer grado con TL/Ca y niños control a quienes administraron una serie de tareas de contar diseñadas para evaluar la comprensión que los niños tenían de las reglas de conteo -descritas por Gelman y Gallistel- y las reglas no esenciales del conteo (dirección estándar y adyacencia). A los niños se les presentó en un monitor un muñeco que estaba aprendiendo a contar, algunas de las cuentas que hacía eran correctas y otras violaban una de las reglas de conteo, si los niños detectaban la violación, entonces se asumía que tenían al menos una comprensión implícita del concepto subyacente. Todos los niños resolvieron también una serie de problemas de sumas presentadas en computadora y se grabó la estrategia para resolver cada uno de los problemas. En relación con los niños normales, los niños con TL/Ca recuperaron pocos datos de la memoria y cometieron un gran número de errores de recuperación. En la tarea de contar, muchos de los niños con TL/Ca no entendieron el principio de irrelevancia de orden de Gelman y Gallistel y creyeron que la adyacencia era una característica esencial del conteo. Hubo también diferencias entre grupos en las pruebas en las que el primer o último ítem se contó doblemente. Los niños con TL/Ca identificaron correctamente como error cuando el último ítem fue doblemente contado, sugiriendo que entendían el principio de la correspondencia uno a uno. Sin embargo, cuando se contó doblemente el primer ítem, no encontraron el error, sugiriendo que muchos niños con TL/Ca tienen dificultades para mantener la información en la memoria de trabajo -en este caso notar que el primer ítem fue doblemente contado- mientras se monitorea el acto de contar. Este estudio sugiere que en general, muchos niños con TL/Ca tienen un retraso en el desarrollo del concepto de contar.

VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO

A diferencia de los normales, los niños con TCa a menudo requieren más tiempo para resolver un problema aritmético (Geary, 1993). Esto puede deberse a que usan las mismas estrategias que los niños normales pero son más lentos para ejecutar las operaciones básicas o a que usan diferentes mezclas de estrategias para resolver los problemas que los llevan a ser más lentos para obtener la solución. Al evaluar si los niños de primero y segundo grado con TCa y los normales difieren en velocidad de procesamiento cuando usan la misma estrategia en la solución de 40 problemas de sumas simples presentados por computadora, Geary (1990) encontró que los niños con TCa presentaron mayores tiempos de reacción en la codificación de números y en la producción de respuestas por lo que concluyó que los niños con TCa son más lentos en la ejecución de estrategias computacionales y en la recuperación de datos aritméticos. De acuerdo a Geary y Hoard (2001) los niños que presentan comorbilidad de deficiencias aritméticas y dislexia, son más lentos para acceder tanto al nombre de los números como a las palabras que se encuentran en la memoria a largo plazo.

COMPONENTES NEUROPSICOLÓGICOS

Para estudiar los diferentes componentes funcionales del procesamiento aritmético: comprensión y producción de números, mecanismos sintácticos, mecanismos léxicos y procesos de recuperación de la memoria, los neuropsicólogos cognoscitivos se han enfocado en el procesamiento de operaciones de un solo dígito como la suma, multiplicación o resta (Nöel, 2001). Cuando se procesan operaciones multidígito se involucran procesos adicionales a los del cálculo, como memoria de trabajo, procesamiento secuencial, uso de procedimientos para resolver operaciones, etc.

A continuación se describen los componentes funcionales del procesamiento aritmético.

COMPRENSIÓN Y PRODUCCIÓN DE NÚMEROS

Las tareas con números requieren de su comprensión y/o producción. En pacientes con lesión cerebral se ha encontrado una disociación: hay quienes comprenden, pero no pueden producir y viceversa (Nöel, 2001).

MECANISMOS SINTÁCTICOS

Identificar la cantidad a la que se refiere un número arábigo, no requiere sólo saber el valor de cada dígito individual (p.e. 123 y 321 no son lo mismo, es decir, tienen los mismos dígitos pero su acomodo corresponde a una cifra diferente). Nuestro sistema numérico es en base 10 por lo que la cantidad expresada por cada dígito depende de su posición dentro de la cifra (empezando de la derecha). El dígito 0 mantiene la posición que no es ocupada por cantidades básicas (p.e. 1003, los ceros ocupan el lugar de la decena y la centena). Los pacientes que presentan un daño sintáctico del procesamiento aritmético pueden escribir p.e. 20042 cuando se les dicta 242, es decir, utilizan los ceros para escribir el "200" y luego escriben "42". Estos pacientes presentan un orden de magnitud incorrecto (Denburg & Tranel, 2003).

MECANISMOS LÉXICOS

El lexicón es el diccionario mental y se relaciona con la información de todo el material verbal o aritmético que conocemos. El procesamiento de dígitos individuales (identificación o producción) no se altera fácilmente cuando existe un daño cerebral. Hay casos donde se reportan deficiencias al leer palabras, pero no dígitos. Dehaene (1992) menciona que lo anterior se debe al hecho de que los dígitos arábigos se procesan en ambos hemisferios cerebrales.

Dentro de los mecanismos léxicos, Nöel, Fias y Brysbaert (1997) sugieren que los números que corresponden a los productos de multiplicación de un sólo dígito se pueden representar como un todo en el lexicón del sistema de producción.

PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE LA MEMORIA

Las soluciones de problemas de multiplicación de un sólo dígito se recuperan de la memoria a largo plazo (Ashcraft, 1995). McCloskey, Alimosa y Sokol (1991) mencionan que los problemas de multiplicación de un sólo dígito activan la correspondiente columna y renglón (p.e. los nodos enteros para el primer y segundo operando) y esta activación se disemina hasta una intersección en un sitio donde se almacena la respuesta correcta, sugiriendo que cada dato tiene su representación por separado en la memoria.

Las habilidades elevadas de multiplicación mental dependen de la recuperación de una red asociativa de datos aritméticos. Esta conclusión está documentada por un efecto de interferencia y *priming*¹ tanto en sujetos normales como en sujetos con daño cerebral. Esto indica que la respuesta es producto principalmente de una recuperación de datos numéricos de la memoria y que la recuperación refleja procesos de redes asociativas en las cuales múltiples problemas y representaciones de respuestas se activan durante el intento de recuperación (Pauli, Lutzenberger, Rau, Birbaumer, Rickard, Yaroush & Bourne Jr., 1994; Ashcraft, 1995).

Las explicaciones de los efectos de interferencia y *priming* en aritmética mental son esencialmente las mismas que las postuladas para el material semántico, ya que la base de ambas está en la estructura teórica de la diseminación de activación en la red de memoria propuesta por Collins y Loftus (1975). Nieddegen, Rösler y Jost (1999) proponen que aunque las redes que almacenan los datos aritméticos parecen comportarse como las redes semánticas o léxicas, no necesariamente son las mismas, ya que se ha encontrado que pacientes con un daño selectivo pueden tener dificultades con la multiplicación de un número, pero no muestran deficiencias en el acceso al léxico, ni en la producción y comprensión del lenguaje.

Estudios con individuos normales indican que los almacenes de los datos aritméticos de diferentes operaciones no son totalmente independientes uno de otro, ya que se han encontrado confusiones entre operaciones donde se pide la producción de las

¹ Facilitación en el procesamiento o identificación de estímulos como consecuencia de una exposición anterior a estos (Schacter, 1996).

respuestas (decir 20 en respuesta a 4+5) como en las operaciones en donde se pide la verificación de éstas (rechazar más lentamente $4+5=20$ que $4+5=18$). Esos datos llevaron a Ashcraft (1992) a proponer que la suma y la multiplicación están almacenadas en redes interrelacionadas, pero distintas.

Se ha propuesto que aunque los problemas se encuentren en diferentes formatos (p.e. dígitos o palabras) los datos aritméticos se almacenan en un sólo tipo de representación. Al respecto, McCloskey, Caramazza y Basili (1985) mencionan que los datos aritméticos se almacenan en formatos de representación semántica base-10, p.e. 3×7 debe generar la misma representación semántica base-10 del problema, esto es $(3)10^{\text{exp}0} \times (7)10^{\text{exp}0} = (2)10^{\text{exp}1} + (1)10^{\text{exp}0}$.

En contraste, Dehaene (1992) menciona que los datos de la multiplicación y la suma se almacenan como representaciones verbales. De acuerdo a esta hipótesis, la recuperación de la solución de un problema de multiplicación presentado en forma no verbal (p.e. en números arábigos) requiere primero la traducción del formato arábigo en la correspondiente representación verbal, para después activar la respuesta en forma verbal.

A continuación se abordarán las deficiencias neuropsicológicas encontradas en los niños con TCa.

DEFICIENCIAS NEUROPSICOLÓGICAS EN LOS TCa

Los niños con TCa presentan un patrón heterogéneo de deficiencias en el procesamiento numérico. Temple (1991) afirmó que en términos de los trastornos básicos de la ejecución en las matemáticas, las “discalculias del desarrollo son análogas a las discalculias adquiridas”. Basándose en la similitud entre los déficit asociados con los TCa y los asociados con las discalculias del desarrollo y adquiridas, los estudios neuropsicológicos de la discalculia dan idea de los sistemas neuronales que contribuyen potencialmente a las deficiencias aritméticas en los niños con TCa (Geary, 1993; Geary y Hoard, 2001; Geary, 2004).

De acuerdo con la neuropsicología cognoscitiva, los trastornos del cálculo aritmético pueden ser el resultado de dos factores: problemas en el desarrollo (discalculia del desarrollo) o problemas debidos a un daño cerebral (discalculias adquiridas o acalculias). Dentro de los trastornos del procesamiento aritmético están los de: **percepción** (problemas para diferenciar los números, los operadores, cálculos que involucran arriba-abajo –p.e. suma- y derecha-izquierda– p.e. reagrupamiento, alineación de números en la multiplicación y la división), **atención** (reproducir correctamente números o cifras, recordar el añadir números “llevando” y tener en cuenta los signos operativos), **memoria** (déficit en memoria y en estrategias que pueden afectar la ejecución aritmética, causando en algunos sujetos dificultad para conceptualizar operaciones aritméticas, representar y recordar automáticamente datos aritméticos, conceptualizar y aprender algoritmos y fórmulas, o resolver problemas), **lenguaje** (problemas para relacionar términos aritméticos con su significado –minuendo, dividendo, multiplicando-, verbalización de pasos para resolver problemas), **razonamiento** (comparación de tamaños, símbolos matemáticos $<$, $>$, \times , $=$ -, el nivel abstracto de los conceptos matemáticos), **funcionamiento motor** (legibilidad en la escritura de los números con velocidad y precisión), **habilidades “matemáticas”** (seguir secuencias de pasos matemáticos, contar objetos y aprender las tablas de multiplicar) y **lectura** (entender el vocabulario matemático y los problemas aritméticos a resolver) (Mercer, 1987; APA, 2003; Montague, 1996).

Artigas-Pallarés (2002) menciona que de acuerdo con la parte del cerebro implicada en el trastorno se han propuesto dos grupos de discalculias: 1) La del hemisferio izquierdo, que se define por que el sujeto tiene un coeficiente intelectual ejecutivo superior al verbal. Se asocia con gran frecuencia a la dislexia o a trastornos del lenguaje. En este tipo de discalculia hay un buen funcionamiento visuoespacial pero deficiencias en el cálculo matemático, 2) La del hemisferio derecho, que se caracteriza por presentar un coeficiente intelectual verbal superior al ejecutivo, presentar dificultades pragmáticas en el lenguaje, mala función visuoespacial, alteraciones grafomotoras, dificultades interpersonales y buena lectura. En este tipo de discalculia existen deficiencias en el razonamiento matemático y en la alineación de los números en los cálculos.

Los patrones de deficiencias cognitivas y neuropsicológicas sugieren una taxonomía tentativa de los TCa que podría incluir tres subtipos generales, en cada subtipo se habla de las características cognitivas, relaciones anatómicas, características genéticas, del desarrollo y la relación existente con los TL como se muestra en la Tabla 1 (tomada de Geary, 1993, 2004):

Tabla 1. Patrones de déficit cognoscitivos de los diferentes subtipos de TCa

SUBTIPO	CARACTERÍSTICAS COGNOSCITIVAS Y DE EJECUCIÓN	RELACIONES ANATÓMICAS	CARACTERÍSTICAS GENÉTICAS	CARACTERÍSTICAS DEL DESARROLLO	RELACIÓN CON LOS TL
Memoria semántica	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para recuperar datos aritméticos, como respuestas a simples problemas aritméticos. - Cuando los datos son recuperados hay un alto porcentaje de error. - Los errores de recuperación a menudo se asocian a números incluidos en el problema (p.e. recuperar el resultado 4 cuando la operación es $2+3=?$; ya que 4 es el número que sigue en la secuencia 2, 3). - Los tiempos de reacción para las respuestas correctas son muy variables, en ocasiones son cortos y en ocasiones largos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Parece asociarse con una disfunción del hemisferio izquierdo, posiblemente las regiones posteriores están relacionadas con una forma del déficit de recuperación y las regiones prefrontales con otra. -Estructuras subcorticales como el tálamo y los ganglios basales están posiblemente involucradas. 	<ul style="list-style-type: none"> - No es claro, pero las relaciones con ciertas formas de TL sugieren que este déficit puede ser heredado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se relaciona con un problema en el desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Parece haber relación con los TL, especialmente si están asociados con deficiencias fonológico-semánticas.

Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Uso relativamente frecuente de procedimientos inmaduros (p.e. usan procedimientos comúnmente usados en niños más pequeños). - Errores frecuentes en la ejecución de procedimientos. - Retraso del desarrollo en la comprensión de conceptos subyacentes al uso de procedimientos. - Dificultades para secuenciar los múltiples pasos en procedimientos complejos. 	<ul style="list-style-type: none"> - No es claro, pero algunos datos sugieren una asociación con una disfunción en el hemisferio izquierdo y en algunos casos una disfunción prefrontal (especialmente para problemas de secuenciación). 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay evidencia clara. 	<ul style="list-style-type: none"> - Parece representar un retraso en el desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay una evidencia clara.
Visuoespacial	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultades en la representación/interpretación espacial de la información numérica, como el mal alineamiento de los números en problemas aritméticos de multicolumnas o rotación de números. 	<ul style="list-style-type: none"> - Parece estar asociado con una disfunción en el hemisferio derecho, en particular de las regiones posteriores, aunque también puede estar implicada la corteza parietal del hemisferio izquierdo. 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay evidencia clara, aunque las características cognoscitivas y de ejecución son comunes con ciertos trastornos genéticos (p.e. Síndrome de Turner). 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay evidencia clara. 	<ul style="list-style-type: none"> - No parece estar asociado con los TL.

HALLAZGOS DE LA NEUROCIENCIA COGNOSCITIVA

Una meta de la psicología cognoscitiva es entender la organización del procesamiento de la información en los humanos. Esta rama de la psicología permanece dominada por la aproximación funcionalista, de acuerdo a la cual es posible describir los algoritmos del procesamiento de la información humana sin considerar el sustrato neural (Dehaene, 1996).

Por otro lado, la neurociencia cognoscitiva se ocupa de entender los sistemas cerebrales, circuitos neuronales y mecanismos moleculares involucrados en cada paso de la secuencia del procesamiento de información. En este campo, la capacidad para el cálculo se aborda investigando las bases cerebrales de la aritmética elemental. Gracias a los métodos de la psicología cognoscitiva y de la neuropsicología, y a las técnicas de imagen cerebral (métodos que pueden determinar con gran precisión las áreas cerebrales en las que se incrementa el flujo sanguíneo cerebral al realizar una tarea, lo que ha sido interpretado como “activación”) y electroencefalográficas, hoy es posible localizar las zonas cerebrales que se activan al realizar diferentes procesos cognoscitivos dentro de los que se encuentran las operaciones aritméticas (Dehaene, 2000, 2003).

ESTUDIOS CON TÉCNICAS DE IMAGEN CEREBRAL

La mayor parte del conocimiento actual sobre las regiones cerebrales involucradas en las diferentes funciones cognoscitivas es resultado del estudio de los problemas del procesamiento de información que presentan los pacientes con daño cerebral y del uso de técnicas invasivas como la estimulación eléctrica y la intervención neuroquirúrgica. Recientemente, las técnicas de imagen de trazadores radioactivos han mapeado la actividad metabólica de las regiones cerebrales que participan en diferentes actividades cognoscitivas y lingüísticas. Sin embargo, ninguno de esos métodos da información precisa sobre el curso en el tiempo de la actividad neuronal que subyace a las funciones cerebrales superiores.

Estudios recientes de neuropsicología del desarrollo y de neuroimagen en humanos indican que la habilidad humana para la aritmética tiene un sustrato cerebral tangible (Dehaene, Molko, Cohen & Wilson, 2004). En los humanos, la representación interna de cantidades numéricas se desarrolla muy rápidamente en el primer año de vida y más tarde esta

representación ayuda a que se aprendan símbolos para los números y para ejecutar cálculos simples. La representación interna de cantidades numéricas se asocia específicamente con circuitos neuronales en el lóbulo parietal inferior.

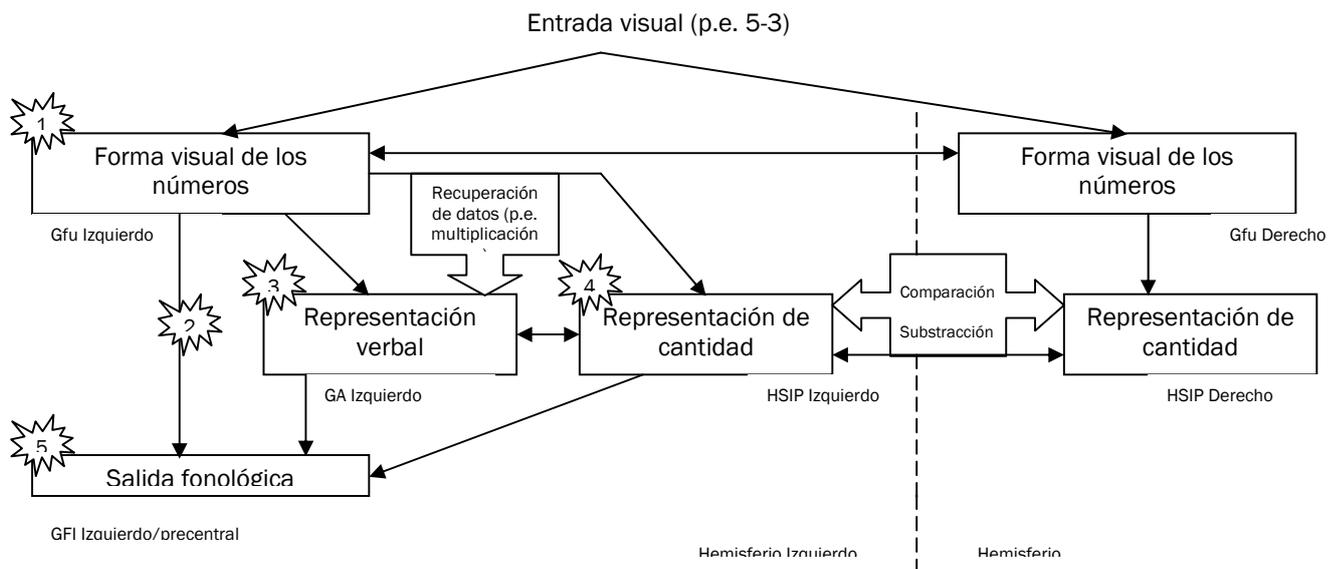
En estudios de análisis cronométrico y en estudios neuropsicológicos de comparación de cantidades, se ha encontrado que el cerebro traduce las palabras o las cifras arábigas, a expresiones simbólicas, según una representación interna de las cantidades numéricas análoga a una línea a lo largo de la cual los números se suceden en orden creciente. Esta representación y la manipulación de los números utilizan principalmente la región parietal inferior de la corteza cerebral. Una lesión selectiva de esta región puede ocasionar una acalculia primaria, es decir, el paciente ya no puede efectuar cálculos, aunque puede nombrar y escribir los números. Según la operación aritmética efectuada, ya sea comparación, resta o multiplicación, la región parietal inferior se activa en uno u otro hemisferio y coordina su actividad con otras regiones especializadas del cerebro, especialmente las que controlan la producción del lenguaje como el área de Broca (Dehaene, 2003).

Roland y Friberg (1985) fueron los primeros en monitorear los cambios en el flujo sanguíneo durante el cálculo por medio de la tomografía computarizada por emisión de un solo fotón (por sus siglas en inglés SPECT). En una tarea donde los sujetos restaron del 50 repetidamente el número 3, la activación se incrementó en el giro angular izquierdo lo que se relacionó con la recuperación de la memoria numérica bilateralmente en la corteza parietal inferior y en la corteza prefrontal. Recientemente, estos resultados se han replicado con estudios que usan Imagen por Resonancia Magnética Funcional (fMRI) (Dehaene, 2000). Dehaene (2003) menciona que las siguientes regiones están comprometidas en el procesamiento de números: El reconocimiento visual activa la región occipitotemporal ventral, en el hemisferio izquierdo para las palabras escritas y de ambos lados para las cifras arábigas. El reconocimiento y la producción de las palabras habladas activan la región perisilviana del hemisferio izquierdo. Las cantidades numéricas están representadas en la región parietal inferior de ambos hemisferios, especialmente en la profundidad del surco intraparietal y el segmento horizontal de este surco está implicado en el procesamiento de números (Dehaene, 2000; Dehaene, Piazza, Pinel & Cohen, 2003). La corteza prefrontal (especialmente el surco precentral y el giro frontal inferior) interviene para memorizar los resultados intermedios y controlar las estrategias puestas en juego por las regiones posteriores (Stanescu-Cosson, Pinel, van de Moortele, Le Bihan, Cohen & Dehaene, 2000). Durante el cálculo, todas las regiones

mencionadas intercambian información. Además, se ha encontrado que la corteza cingulada también interviene cuando se ejecuta un cálculo aritmético (Lee, 2000; Gruber, Indefrey, Steinmetz &, Kleinschmidt, 2001; Pesenti, Thioux, Seron & De Volder, 2000).

En experimentos con Tomografía por Emisión de Positrones (por sus siglas en inglés PET) que involucran comparación de números y multiplicación simple, el surco intraparietal bilateral es la única región que se activa, sugiriendo que esta región juega un papel central en la representación y manipulación de cantidades básicas (Dehaene, 2000), mientras que las áreas prefrontales pueden servir como apoyo en el manejo de operaciones sucesivas en la memoria de trabajo (Dehaene et al., 2004).

Se ha encontrado que la activación del surco intraparietal bilateral es amodal pues se activa de manera idéntica cuando los números son hablados, escritos o si aparecen en notación arábica o en forma de deletreo (Eger, Sterzer, Russ, Giraud & Kleinschmidt, 2003; Naccache & Dehaene, 2001). La región del surco intraparietal bilateral que está relacionada con el procesamiento de cantidad, se puede distinguir del giro angular, el cual se activa durante algunas tareas aritméticas como la multiplicación; dicha región puede estar más relacionada al procesamiento lingüístico que al procesamiento de cantidad (Dehaene et al., 2003). Varios estudios han encontrado un incremento en la activación de la región del surco intraparietal bilateral en tareas que se relacionan con el manejo de números (procesamiento de cantidad) (Delazer, Domahs, Bartha, Brenneis, Lochy, Trieb & Benke, 2003). Esta disociación se ha replicado en un caso de trastorno del cálculo por estimulación eléctrica de la corteza durante una cirugía del lóbulo parietal izquierdo. La estimulación de la parte anterior del surco intraparietal anterior izquierdo trastorna la resta, mientras que la estimulación más posterior del giro angular izquierdo trastorna la multiplicación. Esos resultados son compatibles con una simple dicotomía de acuerdo a la cual, algunas operaciones aritméticas dependen más de una recuperación de datos basados en el lenguaje, y otras del procesamiento de cantidad (Dehaene et al., 2004) (Ver Fig. 1).



Abreviaturas: Gfu (giro fusiforme), GA (giro angular), GFI (giro frontal inferior), HSIP (segmento horizontal del surco intraparietal).

Figura 1. Diagrama esquemático de las vías del procesamiento de la información involucradas en el proceso de dígitos arábigos durante varias tareas aritméticas (Dehaene et al., 2004).

El anterior es un diagrama del modelo de la lectura adaptado al dominio de los números. Aunque no están muy bien especificados los niveles anatómicos y funcionales, este diagrama puede ayudar a explicar varias de las disociaciones neuropsicológicas que se observan en lesiones en adultos (los sitios de las lesiones funcionales están indicados con estrellas). Lesión 1: se asocia con la alexia pura, puede crear una inhabilidad para leer números y para multiplicar, pero no para comparar o restar, Lesión 2: se asocia con la dislexia fonológica, puede crear una inhabilidad para leer números, pero no para multiplicar, restar o comparar, Lesiones 3 y 4: pueden explicar la doble disociación frecuente entre la multiplicación y la resta en pacientes que pueden todavía leer números, y la presencia o ausencia de deficiencias asociadas en el procesamiento de comparación y “numerosidad” (saber cuántos objetos hay en un conjunto) no simbólica, Lesión 5: puede explicar las habilidades residuales de cálculo en pacientes que fallan para producir la solución de problemas aritméticos orales, pero pueden resolverlos cuando están escritos (Dehaene et al., 2004).

Con técnicas de neuroimagen durante diferentes tareas aritméticas (lectura, comparación, adición, sustracción, multiplicación, etc.), se ha encontrado que la corteza parietal derecha se activa durante la comparación de números. La activación se localiza casi exclusivamente en el hemisferio izquierdo en el caso de la multiplicación. En un estudio con

fMRI donde se presentaban dígitos o letras en el centro de una pantalla, y se pedía a los sujetos que compararan los dígitos con el 5, que los multiplicaran por 3 o que los restaran de 11, se encontró una activación bilateral del segmento medio del surco intraparietal. El tamaño y lateralización de la activación parietal se vio afectada por la demanda de la tarea. La comparación de dígitos provocó mayor activación en la corteza parietal inferior derecha, mientras que la multiplicación aumentó la activación en la corteza parietal izquierda y la sustracción lo hizo en forma bilateral (Dehaene, 2000).

El núcleo lenticular izquierdo presentó mayor activación en las multiplicaciones que en las comparaciones de los mismos números. Además, hay datos neuropsicológicos que indican que una lesión de esta región puede ocasionar una pérdida de la memoria de las multiplicaciones. En una multiplicación sencilla, como 2×3 , la activación parietal es de corta duración y fuertemente lateralizada a la izquierda, pero si se presenta una multiplicación con números más grandes, como 8×7 , la activación parece comenzar en el hemisferio izquierdo y extenderse a la región parietal derecha durante varios cientos de milisegundos (Dehaene, 2003). El efecto de tamaño y el de distancia influyen en el cálculo, el tiempo para ejecutar una suma o multiplicación interna varía considerablemente con el tamaño de los números involucrados. Los problemas con pequeños números como $2+3$ ó 3×2 son resueltos más rápidamente que los problemas con números más grandes como $6+8$ ó 6×8 . La práctica que tenemos con datos aritméticos pequeños puede contribuir a este efecto. El efecto de distancia (si el número sugerido como respuesta es cercano o lejano a la respuesta correcta) en tareas de verificación no se puede explicar por la práctica; en experimentos donde se pide a los sujetos que verifiquen si la operación es verdadera o falsa (p.e. $3 \times 6 = 72$) las respuestas incrementan en rapidez cuando el resultado propuesto tiene mayor distancia del resultado verdadero de la operación (Dehaene, 2000).

Dehaene y sus colegas sugieren que la recuperación de datos aritméticos de la memoria a largo plazo (MLP) tiene como base un sistema de estructuras neuronales que parece apoyar las representaciones fonéticas y semánticas y que están relacionadas con el conteo (Geary, 2004). Esas áreas incluyen los ganglios basales del lado izquierdo y las áreas parieto-occipito-temporales izquierdas (Dehaene & Cohen, 1995). El daño de estructuras corticales o subcorticales en esta red se asocia con dificultades para acceder al conocimiento previo de los datos aritméticos. No obstante, no se sabe si los problemas de recuperación de los niños con

TCa son el resultado de un daño o de malformaciones en las regiones identificadas por Dehaene y Cohen (Geary, 2004).

Dada la dificultad para hacer estudios de imagen en los niños, los sustratos neuronales de las habilidades numéricas en ellos permanecen desconocidos. Indirectamente, los estudios de discalculia del desarrollo pueden dar alguna luz sobre este punto. En subpoblaciones específicas de discalculia del desarrollo, los estudios de neuroimagen han revelado deficiencias anatómicas y funcionales del surco intraparietal. Isaacs, Edmonds, Lucas y Gadian (2001) compararon la densidad de la materia gris entre dos grupos de adolescentes que nacieron con grados severos de prematuridad, pero difirieron en la presencia o ausencia de un déficit aritmético, y Molko, Cachia, Riviere, Mangin, Bruandet, Le Bihan, et al. (2003) estudiaron un trastorno genético (Sx. de Turner), en el cual se encuentran deficiencias básicas en aritmética. En ambos estudios se observó que los individuos con deficiencias aritméticas presentaban desorganización y una profundidad anormal en el surco intraparietal derecho. Por su parte, Dehaene et al. (2004) al estudiar a un grupo de sujetos con enfermedades genéticas asociadas con la discalculia (p.e. síndrome X frágil y síndrome velocardiofacial) encontraron una hipoactivación del surco intraparietal que se extendió a la red parietofrontal.

POTENCIALES RELACIONADOS CON EVENTOS (PRE)

Se han hecho diferentes intentos para aproximarse a la naturaleza de los procesos cognoscitivos a través de varios métodos y técnicas. La ejecución de las pruebas tradicionales de papel y lápiz no proporciona información detallada acerca de los componentes subyacentes de un proceso y los estudios de imagen aportan datos principalmente topográficos, pero son muy caros y suministran poca información temporal del proceso. Uno de los métodos psicofisiológicos no invasivo, relativamente barato y sensible a aspectos específicos del procesamiento de la información en tiempo real, es el de los Potenciales Relacionados con Eventos (PRE), en el cual la actividad eléctrica cerebral se registra en sincronía con un determinado evento relacionado con el proceso cognoscitivo específico que se quiere estudiar. Se ha encontrado que los PRE son sensibles a medidas de aspectos específicos del proceso de información humano, en particular en el campo de la atención, el lenguaje y la memoria (Rugg & Coles, 1995).

Los PRE son un método no invasivo con un alto grado de resolución temporal –en el orden de los milisegundos (ms)- pero con baja resolución espacial (proveen una localización anatómica poco precisa). Los PRE, conocidos tradicionalmente como potenciales evocados, son cambios de voltaje que se pueden representar como oscilaciones del electroencefalograma en curso, relacionados cronométricamente con eventos sensoriales, motores o cognoscitivos (Hillyard & Picton, 1987; Rugg & Coles, 1995; Picton & Taylor, 2007). Estos potenciales surgen de la actividad sincrónica de una población neuronal involucrada en el procesamiento de la información, específicamente relacionada con el proceso cognoscitivo en estudio. En conjunto con medidas conductuales, los datos de los PRE se pueden usar para identificar y clasificar operaciones perceptuales, cognoscitivas y lingüísticas. Como los potenciales son demasiados pequeños para ser observados dentro del patrón del electroencefalograma (EEG) de base, para su obtención es necesario promediarlos. La promediación requiere de la repetición de un estímulo o evento que se liga en el tiempo al registro de la actividad eléctrica cerebral. Como el EEG tiene un comportamiento aleatorio en el tiempo y en el espacio, y el potencial aparece ante cada estímulo, en la promediación de un gran número de segmentos el EEG de base tiende a cero (desaparece su aportación de voltaje), mientras que el potencial permanece por estar ligado a un estímulo en el tiempo y presentar siempre la misma respuesta eléctrica.

Los parámetros que se miden en los PRE son: polaridad, latencia, amplitud, y topografía. Convencionalmente, a los componentes (ondas relacionadas con un proceso sensorial o cognoscitivo específico) de los PRE se les da un nombre según su polaridad: Positiva (P) o Negativa (N), y su latencia (tiempo en milisegundos -ms- en que se presenta la máxima amplitud del componente una vez que se dio el estímulo), también se identifican por el paradigma usado. Por ejemplo, se llama N400 al componente negativo que aparece alrededor de los 400 ms después del estímulo. Como la latencia de un pico de los PRE puede variar de un sujeto a otro, el promedio de la latencia del pico en una población de sujetos se usa a menudo para designar al componente. También se mide su amplitud (en microvolts - μ V-), que es el voltaje que refleja la actividad sincrónica de una población neuronal involucrada en el procesamiento de la información. Por último, también se describe la topografía del componente que es el lugar del cuero cabelludo donde dicho componente presenta mayor amplitud.

Idealmente, cada PRE registrado en el cuero cabelludo debería ser etiquetado tomando en cuenta su polaridad, latencia, generador dentro del cerebro y su papel funcional en el procesamiento de la información, pero desafortunadamente la fuente o generador de la mayoría de los PRE no se conoce. Los componentes de los PRE se clasifican en: a) Exógenos o tempranos: Estos representan la actividad provocada en las vías sensoriales, son determinados principalmente por las características físicas del estímulo y no se modifican por los estados psicológicos del sujeto, y b) Endógenos: Dependen en mayor medida de los cambios psicológicos del sujeto, el significado del estímulo, y/o la demanda del procesamiento de información de la tarea. Estos últimos son usados para investigar las bases fisiológicas de la cognición humana. Entre ellos se encuentra la P300 (relacionada con procesos de memoria de trabajo) y la N400 (relacionada con aspectos del procesamiento del lenguaje) (Altenmüller & Gerloff, 1999).

En este trabajo se propone el estudio del *priming aritmético* (facilitación de la recuperación de la memoria de datos aritméticos mediada por el conocimiento de operaciones aritméticas elementales) y del *priming semántico* (fenómeno en el cual una palabra blanco -p.e. "leche"- es reconocida más rápidamente cuando es precedida por un contexto -ya sea palabra u oración- semánticamente relacionado -p.e. "vaca"- que cuando es precedida por una palabra semánticamente no relacionada -p.e. "edificio"-) mediante la técnica de los Potenciales Relacionados con Eventos.

PRE Y PRIMING SEMÁNTICO

Diferentes investigaciones electrofisiológicas del *priming* semántico han encontrado un componente negativo de los PRE con un pico de latencia alrededor de los 400 ms denominada *N400*. Este componente fue estudiado por primera vez por Kutas y Hillyard (1980) quienes reportaron que las palabras finales semánticamente incongruentes de oraciones presentadas en forma visual en comparación con las palabras finales semánticamente congruentes, provocaban una negatividad de mayor amplitud alrededor de los 400 ms. Se sabe que la amplitud del componente *N400* es inversamente proporcional a la cantidad de activación diseminada por el contexto precedente o el facilitador (Holcomb & Neville, 1991; Deacon, Hewitt, Yang & Nagata, 2000) y que además, la *N400* puede también ser provocada por palabras presentadas por pares. En este tipo de tareas la *N400* es de mayor amplitud para la segunda palabra en los pares no relacionados semánticamente que para los relacionados. De acuerdo a Holcomb (1993) y Silva-Pereyra et al. (1999), la *N400* es de menor amplitud para los pares relacionados debido a que el detector léxico de la palabra blanco se beneficia de la diseminación de la activación que se asocia con el procesamiento del facilitador o *prime*.

PRE Y ARITMÉTICA

Aunque los PRE han mostrado su utilidad en el estudio de la atención selectiva, el procesamiento del lenguaje y la recuperación de la memoria, hay sólo unos pocos estudios que han registrado PRE en tareas de cálculo mental (Niedeggen, Rösler & Jost, 1999). En una tarea de multiplicación mental de un dígito, donde sujetos adultos tenían que escribir la respuesta, Pauli et al. (1994), evaluaron los efectos de la dificultad del problema, así como el de la práctica. Encontraron una positividad (que los autores no quisieron etiquetar como *P300* por no cumplir con las características de este componente) que al principio de las sesiones tuvo mayor amplitud en la región frontocentral y también se observó en regiones parietales; la positividad frontocentral disminuyó a lo largo de las sesiones, centrándose finalmente en regiones centroparietales. La disminución de la amplitud en la región frontal se relacionó con la práctica, señalando que los lóbulos frontales se activan más cuando la actividad es controlada y a medida que la tarea se automatizó, se observó menos actividad frontal. La positividad fue interpretada como un signo de recuperación de datos aritméticos de las redes corticales. Como no se observó una reducción de la amplitud en la región parietal a lo largo de las sesiones, los autores

explicaron que esta región cerebral es funcionalmente necesaria para recuperar los datos de la memoria, más por un acceso directo que por un procedimiento de cálculo consciente. La dificultad del problema no afectó la topografía o amplitud de la positividad.

En otro estudio, en una tarea de comparación de magnitud de números, sujetos adultos compararon números más pequeños (1 y 4) o más grandes (6 y 9) que 5, los estímulos fueron presentados visualmente en forma arábica (1, 4, 6 ó 9) o en palabras (UNO, CUATRO, SEIS ó NUEVE). Dehaene (1996) describió y relacionó los siguientes componentes de los PRE para esta tarea con estructuras cerebrales: 1) una positividad en regiones posteriores, 100ms después de que aparecía el número en pantalla, que fue relacionada con actividad del área visual primaria; 2) una N150 con diferente topografía de acuerdo a la forma de presentación del estímulo (las cifras en forma arábica activaron las regiones occipitotemporales ventrales de ambos hemisferios, mientras que las palabras activaron la región occipitotemporal ventral izquierda); 3) a los 190 ms, encontró el efecto de distancia, reflejado en una positividad parieto-occipito-temporal lateralizada a la derecha; esta positividad fue de mayor amplitud para los números más cercanos a 5 que para los números más lejanos, independientemente de la notación. La topografía de esta positividad fue similar para los números presentados en cifras arábigas o letras, lo que de acuerdo al autor confirma que la región parietal inferior no codifica los nombres como símbolos en una numeración particular, sino en un código cuantitativo abstracto independiente de la notación de ingreso. Conductual y electrofisiológicamente encontró que, los sujetos presentaron tiempos de reacción y latencias mayores para las comparaciones con los números 4 y 6, porque estas cifras son más cercanas al 5, que para los números 1 y 9 (Dehaene, 2003).

En estudios de PRE con tareas aritméticas, se ha observado la desventaja de confundir el proceso de recuperar datos con otros procesos mentales (p.e. comparación de dígitos, almacenaje intermedio de resultados particulares, expectancia, etc.). Los paradigmas que estudian la recuperación de datos aritméticos de manera más pura, se apoyan en el trabajo pionero de Kutas y Hillyard (1980) para el procesamiento de oraciones en donde encontraron el componente N400, del que también hay evidencia de que es sensible a las asociaciones lingüísticas dentro de la memoria semántica. Las investigaciones acerca del *priming* aritmético han relacionado el componente llamado N400_Aritmético con la solución incorrecta de multiplicaciones simples (Niedeggen & Rösler, 1999, 1999a; Niedeggen, Rösler & Jost, 1999), como se detalla a continuación.

Si los datos aritméticos están organizados de manera similar a las redes semánticas del lenguaje, entonces los resultados incongruentes de las operaciones aritméticas provocarán un PRE parecido al obtenido en tareas de *priming* semántico en las cuales no hay compatibilidad entre el estímulo semánticamente esperado y el que en realidad se presenta (Niedeggen, Rösler y Jost, 1999).

Niedeggen, Rösler y Jost (1999) trataron de probar que los datos aritméticos se almacenan en redes organizadas de forma similar a las redes semánticas. Presentaron operaciones aritméticas con resultados incongruentes para probar la existencia del efecto N400 aritmético (experimento 1), también trataron de probar si tal efecto presentaba características funcionalmente similares al efecto N400 semántico probando si los errores relacionados y no relacionados en problemas de multiplicación afectaban la amplitud de N400 en forma similar al paradigma de la N400 semántica (experimento 2). En el experimento 1, se presentó una tarea de verificación de problemas de multiplicación de un solo dígito con resultados correctos e incorrectos. Las soluciones incorrectas fueron errores no relacionados (no eran múltiplos de uno u otro operando). Al comparar los PRE para ambos tipos de resultados, encontraron un efecto N400 de corta duración que tuvo su máxima amplitud entre 300 y 500 ms y topografía centroparietal. En el experimento 2, presentaron errores relacionados (se usaron respuestas relacionadas con el primer o segundo operando -p.e. $4 \times 7 = 21$ ó $4 \times 7 = 32$) y no relacionados (se construyeron cambiando el producto correcto sumándole o restándole 1 p.e. $4 \times 7 = 27$ ó $4 \times 7 = 29$). Encontraron que los errores no relacionados provocaron una negatividad ligeramente más grande que los errores relacionados, por lo que concluyeron que la N400 aritmética se comporta de forma similar a la N400 semántica.

En otro experimento para determinar más similitudes entre la N400 aritmética y la semántica con el mismo procedimiento del experimento anterior, Niedeggen y Rösler (1999) registraron PRE a errores relacionados y no relacionados, que tuvieran una distancia pequeña, mediana o grande respecto a la solución correcta. Encontraron que los resultados incorrectos provocaron una negatividad (N400 aritmética) seguida de una positividad (LPC o P300); la negatividad se inició alrededor de los 300 ms y presentó una topografía centroparietal con mayor predominancia en el hemisferio derecho. La amplitud de la negatividad fue mayor para los errores no relacionados que para los relacionados. Además, la N400 para los errores no relacionados tuvo una amplitud constante, mientras que para los errores relacionados

disminuyó proporcionalmente a medida que el error se acercaba al resultado correcto, de manera semejante a lo que se ha descrito para la N400 semántica (Kutas & Hillyard, 1984).

En una tarea de verificación, Jost, Henninghausen y Rösler (2004) compararon la recuperación de datos aritméticos y semánticos. En la condición aritmética examinaron el efecto del tamaño del problema (i. e. los problemas con ambos operandos menores o iguales a 5 se consideraron pequeños, mientras que los problemas con ambos operandos mayores a 5 se consideraron grandes, los problemas que tenían combinación -p.e. 3×8 - se consideraron en los dos niveles). Las operaciones tuvieron soluciones correctas e incorrectas, las soluciones incorrectas fueron relacionadas (múltiplos del primer operando) o no relacionadas. Para la condición semántica, manipularon la probabilidad de cierre y la congruencia de la palabra final en oraciones. Encontraron que para la tarea: 1) Aritmética: Las soluciones incorrectas provocaron una negatividad de 270 ms de inicio que terminaba alrededor de los 500 ms., con amplitud máxima alrededor de los 350 ms en regiones centroparietales con predominio derecho. Observaron que los problemas grandes presentaron mayores latencias que los problemas pequeños. Después de la negatividad se observó una positividad que duró alrededor de 200 ms. 2) Semántica: Las palabras incongruentes provocaron una negatividad que se inició alrededor de los 250 ms y duró hasta los 510 ms, con amplitud máxima a los 380 ms en regiones centroparietales. Esta negatividad fue más prolongada en la condición de probabilidad moderada de cierre. La amplitud de la N400 aritmética fue menor que la de la N400 semántica. Los autores interpretaron la N400 en ambas tareas como la recuperación de los datos de la memoria semántica a largo plazo y que las mismas variables afectaron a ambos componentes.

Szűcs y Csépe (2004) investigaron el efecto de la modalidad de presentación de los estímulos en la recuperación de la información numérica. Presentaron a los participantes un par de números, el primer número del par se presentó visualmente en forma de número arábigo o como una palabra escrita, o bien en forma auditiva. El segundo número del par fue un número arábigo presentado en forma visual. Los autores también exploraron los componentes de los PRE relacionados con el efecto de distancia para los resultados incongruentes en operaciones de suma. La tarea de los sujetos era sumar el par de estímulos tan rápido como fuera posible y decidir si otro número que se presentaba era el resultado correcto o no. Encontraron una Negatividad (N1) y una Positividad (P2). Al segundo estímulo, la amplitud de la N1 en sitios parietales y de P2 en sitios frontocentrales fue mayor cuando el primer estímulo se presentó en forma auditiva que cuando se presentó en forma escrita, y fue intermedia cuando los números

se presentaron en forma arábica. A partir de los 250 ms los PRE fueron similares en las 3 condiciones, esto puede indicar que después de los 250 ms empiezan a tomar lugar los procesos cognitivos independientes de la modalidad. Los autores encontraron que ante los resultados incongruentes se observó mayor amplitud de una negatividad que denominaron N270 y la aparición de una positividad tardía (LPC) respecto a los resultados congruentes. Las latencias de ambos componentes fueron menores para los resultados pequeños de las sumas (entre 1 y 10) que para los grandes (de 11 a 18).

En otro estudio, Szűcs y Csépe (2005) hicieron dos experimentos para probar las propiedades del efecto N400 en respuesta a resultados incorrectos en tareas de sumas simples. Usaron también el efecto distancia en los resultados incorrectos. En el primer experimento presentaron dos números (uno arriba del otro) para que el sujeto hiciera la suma mental, posteriormente presentaban un resultado y los sujetos tenían que decidir, apretando un botón distinto, si el resultado era o no correcto. Encontraron que para las respuestas correctas e incorrectas se presentó una P2 seguida de una N400 (ahora denominada N3) y posteriormente una P300 o LPC. La N400 fue de mayor amplitud para los resultados incorrectos. Respecto al efecto distancia, encontraron que los resultados incorrectos cuya distancia era menor, se acompañaron de una N400 de menor latencia y amplitud, que los resultados incorrectos cuya distancia era mayor. En un segundo experimento, exploraron si la negatividad aritmética tenía relación con la N2b relacionada con procesos de atención (variando la proporción de presentación de resultados correctos e incorrectos) y si el componente N400 aparecía aún cuando los sujetos no dieran una respuesta conductual. Presentaron los estímulos en forma sucesiva con las mismas condiciones del experimento anterior. Encontraron una P200-N400-LPC, la N400 fue de mayor amplitud para los resultados incorrectos que para los correctos, pero la latencia del componente fue mayor que en el experimento 1. Los autores lo explican como que los sujetos no dieron respuesta conductual y que posiblemente esto no los motivó para hacer una evaluación rápida del estímulo, ya que no debían dar una respuesta rápida. La amplitud de la N400 no fue sensible a la proporción de resultados correctos, por lo que descartaron que sea una N2b, sin embargo su latencia se incrementó conforme disminuía la proporción de resultados correctos. Además, encontraron que la respuesta explícita no parece ser importante para determinar las propiedades de la N400. En ambos experimentos la N400 presentó una topografía centroparietal, ligeramente mayor en el hemisferio derecho.

Zhou, Chen, Dong, Zhang, Zhou, Zhao, et al. (2006) presentaron a universitarios multiplicaciones, sumas y restas de un dígito con resultados correctos e incorrectos. Encontraron que las multiplicaciones con resultados incorrectos provocaron una mayor negatividad entre los 275 y 334 ms en comparación con los resultados incorrectos para sumas y restas. Esta negatividad presentó una topografía fronto-central. Además del estudio electrofisiológico, hicieron un análisis de fuentes y encontraron que la multiplicación, a diferencia de las otras operaciones, tuvo un dipolo simple en la región frontal anterior izquierda. Concluyeron que los resultados son consistentes con la idea de que la representación y la recuperación de datos de la multiplicación tienen mucha relación con el procesamiento fonológico.

Utilizando el “Modelo de Vecinos que Interactúan” (Interacting Neighbors Model) Domahs, Domahs, Schlesewsky, Ratinckx, Verguts, Willmes, et al. (2007) afirman que la representación de los números se da en dos dígitos separados y no en una representación holística. Presentaron una tarea de verificación de multiplicaciones simples con resultados correctos e incorrectos. Estos últimos podían ser consistentes (la respuesta correcta compartía el dígito de las decenas y no el de las unidades, p.e. $8 \times 3 = 21$ cuando la respuesta correcta es **24**) o inconsistentes (las respuestas no compartían ninguno de los dos dígitos, p.e. $8 \times 3 = 15$). Los autores mostraron evidencia conductual para el “Modelo de Vecinos que Interactúan” pues los resultados incorrectos consistentes presentaron mayores TR para ser rechazados que los resultados inconsistentes. Los autores relacionan lo anterior con un procesamiento similar al que se realiza en las tareas de decisión léxica. En los PRE, los resultados incorrectos consistentes presentaron mayor amplitud de la N400 y una LPC reducida en comparación con los resultados incorrectos inconsistentes. Domahs y cols. interpretaron la N400 como un reflejo del procesamiento léxico-semántico, mientras que a la LPC la relacionaron con el juicio de plausibilidad y/o expectancia.

En un estudio con niños, Dong, Wang, Yang, Ren, Meng y Yang (2007) investigaron el desarrollo cognitivo del procesamiento semántico y del cálculo aritmético en un grupo de 60 niños de 8, 9 y 11 años. Presentaron una tarea de decisión léxica y una tarea de aritmética mental (suma, resta y multiplicación). En la primera los niños tenían que decidir si la palabra blanco era una palabra real en Chino o era una pseudopalabra, mientras que en la segunda se les solicitaba que dijeran si el resultado al que llegaban era el mismo que se presentaba en la pantalla. En ambas tareas, los autores encontraron cambios en los componentes de los PRE respecto a la edad. En la tarea de decisión léxica, encontraron que en los niños de las tres

edades las pseudopalabras provocaron una N400 de mayor amplitud que las palabras, y la latencia y la amplitud de este componente fueron más grandes en los niños de 8 años que en los de 11. En la tarea de aritmética mental, encontraron que en los niños de 8 años, las latencias de P2 (entre 180-220 ms), N2 (entre 300-400 ms) y P3 (entre 400-800 ms) fueron mayores que para los de 11. No encontraron diferencias estadísticamente significativas en la amplitud entre los diferentes tipos de operaciones ni entre los diferentes grupos de edad. Los autores mencionan que la mayor amplitud de N2 puede indicar mayores recursos de atención que se requieren en las tareas aritméticas.

Dong, Suhong, Yilin, Ping, Feng, Wen et al. (2007) intentaron delinear las diferentes estrategias del procesamiento aritmético en un grupo de adultos (22 a 25 años) y un grupo de niños (8 a 9 años). Los participantes realizaron una tarea de reconocimiento de números y una tarea de cálculo (suma y resta). En ambas tareas, los estímulos se presentaban tanto en forma ordenada como en forma fragmentada-desordenada. En la primera tarea los participantes tenían que apretar diferentes teclas del mouse cuando aparecían dígitos en forma convencional o en forma fragmentada-desordenada. En la segunda, se les pedía que verbalizaran la respuesta y presionaran una tecla en forma simultánea, además que presionaran otra tecla si el estímulo presentado era una operación en forma fragmentada-desordenada. En ambas tareas se observó el complejo N1-P2 dentro de los primeros 150 ms, estos componentes fueron seguidos en la región fronto-central por una N2 (150-300 ms), y en la región centro-parietal por una onda lenta positiva (denominada pSW por sus siglas en inglés) que se extendió hasta los 750 ms. La N2 presentó una menor latencia para el grupo de adultos que para el grupo de niños en ambas tareas; sólo en el grupo de niños la latencia de N2 fue diferente entre las condiciones, siendo menor en el reconocimiento numérico que en la tarea de cálculo. Para la tarea de cálculo aritmético, encontraron mayor amplitud de N2 para el grupo de niños que para el de adultos. Respecto a la latencia del componente pSW reportaron diferencias entre condiciones y entre los grupos, fue menor para el reconocimiento de números que para la tarea de cálculo aritmético, y fue menor para el grupo de adultos que para el de niños. La amplitud fue mayor para los adultos que para los niños en ambas condiciones. Los autores reportaron ondas diferencia y encontraron a los 250ms un potencial negativo que denominaron potencial negativo de diferencia (dN3) y a los 400ms una positividad tardía (LPC). La dN3 fue más negativa en los niños que en los adultos principalmente en Fz en la tarea de cálculo aritmético. Los autores también realizaron un análisis de fuentes de corriente y encontraron que en el rango de latencia de N2 se activa la corteza prefrontal, mientras que en el de pSW se activa la región parietal

inferior. Concluyeron que: a) la mayor amplitud de N2 en el grupo de niños indica que requieren mayores recursos atencionales para las tareas aritméticas, b) las diferencias intergrupales en la pSW en la tarea de cálculo aritmético, sugieren que ambos grupos usan diferentes estrategias para resolver una operación aritmética, ya que esta positividad se relaciona con la recuperación de los datos aritméticos de la memoria, y c) que la topografía de la dN3 puede indicar que tanto el reconocimiento numérico como el cálculo mental imponen en los niños una gran carga de la memoria de trabajo y de las funciones ejecutivas.

En los estudios descritos en esta sección se ha reportado consistentemente una negatividad denominada N400 (aunque no en todos los casos) en respuesta a los resultados incorrectos en operaciones aritméticas simples principalmente de multiplicación. La interpretación de este componente está relacionada con la recuperación de datos aritméticos de la memoria a largo plazo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En niños y adultos se ha encontrado un componente de los PRE relacionado con el proceso del *priming* semántico, este componente es denominado N400_Semántico, y en adultos se ha encontrado otro componente relacionado con el proceso del *priming* aritmético, denominado N400_Aritmético (Niedeggen, Rösler y Jost, 1999). Es importante estudiar el *priming* debido a que es un mecanismo de uso frecuente en el procesamiento de información. En el caso de la aritmética, las operaciones simples como “2×5” o “3+6” son raramente resueltas haciendo cuentas, los resultados de estas operaciones se recuperan de la memoria porque su uso es constante (Ashcraft, 1992; 1995). En la literatura se reporta que los adultos poseen redes asociativas bien desarrolladas para los datos numéricos que permiten recuperar de la memoria el resultado de operaciones sencillas. De acuerdo a los postulados teóricos, los datos aritméticos se almacenan en forma similar que las palabras, en una red de memoria densamente interconectada, estos datos están organizados y se activan de acuerdo a la fuerza de las conexiones individuales. Los procesos de recuperación de memoria que se reflejan en el *priming* son semejantes para las palabras (*priming* semántico) que para las operaciones aritméticas básicas como la suma y la multiplicación (*priming* aritmético).

Este estudio explora los procesos relacionados con la lectura y la aritmética, específicamente el proceso de *priming*, en niños normales y en niños con TL/Ca por medio de la técnica de los PRE,

Es conveniente mencionar que -hasta donde sabemos-, en niños normales y con TA no se ha descrito la respuesta electrofisiológica al *priming* aritmético y debido a que los postulados teóricos mencionan que tanto el *priming* semántico como el aritmético se comportan de forma similar, en este trabajo se estudiaron ambos procesos, tanto en niños lectores normales como en niños con Trastornos de la lectura que tienen problemas en el cálculo (TL/Ca). El hallazgo cognoscitivo más consistente en éstos niños, es su dificultad con el cálculo simple, y este perfil se debe principalmente a las dificultades en la recuperación de datos aritméticos básicos de la memoria a largo plazo (Mussolin y Nöel, 2008). Por lo que en este trabajo se explora esta deficiencia tanto desde el punto de vista conductual como electrofisiológico, lo cual aportaría evidencia biológica a esta hipótesis. Adicionalmente, postulamos que la dificultad para recuperación de datos puede darse tanto para los aritméticos como para las palabras, por lo que

podrán observarse deficiencias en los niños con TL/Ca también en la tarea de priming semántico.

OBJETIVOS

Este trabajo se propuso:

1. Caracterizar electrofisiológicamente los procesos de *priming* aritmético y *priming* semántico, tanto en niños lectores normales (NLN) como en niños con TL y problemas de cálculo (NTL/Ca).
2. Comparar las características electrofisiológicas de los procesos anteriores entre los grupos de niños.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la respuesta electrofisiológica que muestre cambios durante tareas de *priming* tanto aritmético como semántico en niños.
- Comparar la respuesta electrofisiológica al *priming* aritmético de los niños con la reportada en la literatura para los adultos.
- Comparar las respuestas electrofisiológicas de los niños lectores normales con la de los NTL/Ca en ambas tareas.

HIPÓTESIS

Dado que en la literatura se ha demostrado que los TL/Ca presentan deficiencias en la recuperación de información de la memoria a largo plazo semántica, entonces:

- En los PRE los niños TL/Ca presentarán características diferentes ya sea de amplitud y/o latencia del efecto N400 para el *priming* aritmético en comparación con los niños lectores normales.
- En los PRE los niños TL/Ca presentarán características diferentes ya sea de amplitud y/o latencia del efecto N400 semántico en comparación con los niños lectores normales.

RELEVANCIA E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.

Es un hecho que para la mayoría de los niños, el aprendizaje del cálculo aritmético representa un gran esfuerzo y el fracaso escolar en esta área está muy extendido. La relevancia e importancia del estudio reside en que se enriquecerá la información acerca de las deficiencias de recuperación de información semántica de la memoria a largo plazo en los niños con TL, pues se propone caracterizar estas deficiencias no solo conductual, sino electrofisiológicamente. El uso de los PRE ayudará a evidenciar -desde un punto de vista biológico- los procesos cognoscitivos en relación con el *priming* aritmético y semántico que pudieran estar afectados en los niños con TL/Ca. Este conocimiento puede ser de utilidad como una herramienta diagnóstica más precisa y así planear un tratamiento específico en el caso de los niños que presentan este trastorno.

MÉTODO

SUJETOS

La muestra se conformó de 32 niños del sexo masculino de 4to. a 6to. año de primaria, divididos en dos grupos: grupo control (lectores normales -NLN-, n=16) y grupo experimental (niños con trastornos en la lectura y problemas en cálculo -NTL/Ca-, n=16). Treinta y un niños eran diestros y uno zurdo de acuerdo a la Batería Neuropsicológica para niños con Trastornos del Aprendizaje de la Lectura -BNTAL- (Yáñez et al., 2002) y tenían visión normal o corregida. Los grupos fueron semejantes en cuanto a edad (NLN \bar{X} =10.35 años D.E=0.72, NTL/Ca \bar{X} =10.68 años D.E.=0.87) y grado escolar (NLN \bar{X} =5.06 grado D.E.=0.77, NTL/Ca \bar{X} =5.00 grado D.E.=0.89).

INSTRUMENTOS

Para clasificar y seleccionar a los niños se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Evaluación del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (EDAH) (Farré & Narbona, 2003): Escala de 20 preguntas relacionadas con el Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad y el Trastorno de conducta, proporcionada tanto a los padres como al maestro. Tiene tablas de puntuaciones para niños de 1ro a 6to año. Se utilizó para descartar déficit de atención con hiperactividad.
- Escala de Inteligencia Revisada para el Nivel Escolar (WISC-R) (Wechsler, 1981): Prueba de inteligencia para niños de 6 a 16 años de edad. La prueba contiene una escala verbal (comprende las siguientes subpruebas: Información, semejanzas, aritmética, vocabulario y comprensión) y una escala de ejecución (comprende las siguientes subpruebas: Figuras incompletas, ordenación de dibujos, diseño con cubos y composición de objetos). Se utilizó para descartar inteligencia límite y retraso mental.
- Batería Neuropsicológica para Niños con Trastorno de Aprendizaje de la Lectura -BNTAL- (Yáñez et al., 2002): Batería neuropsicológica que evalúa las funciones cognitivas en los niños. Contiene pruebas que valoran: atención, procesamiento fonológico, repetición, vocabulario receptivo y expresivo, lectura, gramática, escritura, aritmética, percepción

visual, memoria a corto plazo, memoria a largo plazo, memoria de trabajo y abstracción verbal. Se utilizó para clasificar a los niños en NLN y NTL/Ca.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

a) Presentar puntuaciones normales de Coeficiente Intelectual -CI \geq 85- obtenido por la Escala de Inteligencia revisada para el nivel escolar de Wechsler -WISC-R, 1981-, b) tener una exploración neurológica normal, c) no tomar fármacos, d) no presentar TDAH de acuerdo a la escala EDAH, e) contar con consentimiento informado de los padres, f) para ser considerado NTL/Ca, presentar en la BNTAL: puntuaciones menores o iguales al percentil 30 en pruebas de lectura y aritmética, que es el criterio que se ha usado en otras investigaciones (p.e Jordan & Montani, 1997, Jordan & Hanich, 2000; Geary, Hoard & Hamson, 1999) y para ser considerado NLN: puntuaciones por arriba del percentil 40 en pruebas de lectura y aritmética.

Una vez establecidos los dos grupos de niños con diferentes puntajes en la BNTAL, se aplicó un Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA) usando puntuaciones z, para comparar a los grupos en las pruebas de lectura: 1. Velocidad de lectura de palabras frecuentes, no frecuentes, pseudopalabras, pseudohomófonas y tiempo de decisión léxica, 2. Aciertos en lectura de palabras, comprensión de textos, decisión léxica y comprensión de órdenes escritas; y aritmética: aciertos en dictado de números, denominación de números, series numéricas, comparación de números, operaciones orales, operaciones impresas, operaciones escritas y resolución de problemas aritméticos. Se encontró que los grupos fueron significativamente diferentes en velocidad de lectura (Lambda de Wilks 0.525 $F^*(5, 26)=4.710$, $p=0.003$), el grupo de NTL/Ca presentó mayor lentitud que los NLN para leer palabras de alta y baja frecuencia, así como pseudopalabras y pseudohomófonas; también presentó mayor lentitud en la tarea de decisión léxica. Se encontraron diferencias significativas respecto a la precisión de la lectura (Lambda de Wilks 0.397 $F^*(4, 27)=10.238$, $p=0.0001$), donde a diferencia del grupo de NLN, el grupo de NTL/Ca presentó gran cantidad de errores al leer en voz alta palabras de alta y baja frecuencia, pseudopalabras y pseudohomófonas, así como un reducido número de aciertos en las tareas de decisión léxica, comprensión de textos escritos y de órdenes escritas. En las pruebas de aritmética, el grupo de NTL/Ca presentó menor cantidad de aciertos que los NLN en

* aproximación a F

tareas de: dictado de números, denominación de números, completamiento de series numéricas, comparación de números, operaciones orales, operaciones impresas, operaciones escritas y resolución de problemas aritméticos (Lambda de Wilks 0.221 $F^*(8, 23)=10.122$, $p=0.0001$).

ESCENARIO

Las evaluaciones neuropsicológicas de los niños se hicieron en las primarias a donde asistían o bien en el laboratorio de Neurometría. Los registros de los PRE se realizaron dentro de una cámara sonoamortiguada donde se encuentra el equipo de registro NeuroScan, en el Laboratorio de Neurometría de la FES-Iztacala.

PROCEDIMIENTO

PARADIGMA PARA OBTENER EL N400 ARITMÉTICO

A los niños se les presentaron multiplicaciones de tipo $(a \times b = c)$ con soluciones correctas o incorrectas. Se presentaron todas las combinaciones de números entre 2 y 9, omitiendo aquellas operaciones con el mismo número (p.e. 2×2 ó 3×3 , etc.) y las multiplicaciones por 0 y por 1 (porque son reglas aritméticas), con lo que quedaron 56 diferentes problemas de multiplicación. Para tener un número suficiente de ensayos, los problemas se repitieron, una vez la operación presentada tuvo una solución correcta y otra vez una solución incorrecta, resultando en un total de 112 ensayos. Se decidió utilizar sólo la multiplicación, porque de acuerdo a Pauli et al. (1994) al estudiar la ejecución en diferentes operaciones lo que se evalúa es la dificultad de la operación más que el proceso de recuperación. Las soluciones incorrectas se crearon sumando o restando al producto correcto, el número 1 ó 3, de modo que no quedara como resultado un número relacionado con alguno de los operandos, es decir, que el resultado no fuera múltiplo de alguno de los operandos (p.e $8 \times 3 = 23$, 23 no es múltiplo del 3 ni del 8).

Además, se presentaron 56 estímulos de relleno (*filler*) que consistieron en sumas con resultados correctos e incorrectos, éstas se usaron para evitar que el niño estuviera consciente de la repetición de la operación y que formara estrategias al responder la prueba (p.e. pensar que en la secuencia de presentación de resultados se alternan resultados correctos e incorrectos), sin embargo solo se usaron los PRE correspondientes a las multiplicaciones.

Las operaciones con ambos tipos de soluciones (correctas e incorrectas) y los *fillers* se ordenaron en forma pseudoaleatoria, con la restricción de que no se presentaran seguidas más de 3 multiplicaciones con solución correcta o incorrecta. Se registró la precisión de la respuesta y el tiempo de reacción para cada operación. Se contrabalanceó el botón del *mouse* con el que contestó el niño.

Las operaciones se presentaron en el centro de un monitor de computadora, con números en fuente Arial con tamaño 32, de color gris claro sobre un fondo negro, de la siguiente forma: operación y resultado. Al principio de cada operación se presentó un punto de fijación (un cuadrado) para indicar al sujeto el comienzo de la tarea, este punto de fijación duró 300 ms.

Quinientos milisegundos después de que desapareció el punto de fijación, la operación y la solución aparecieron en forma secuencial, cada una duró 1000 ms con un intervalo interestímulo de 500 ms. La solución fue seguida por una pantalla negra que permaneció 1000 ms y posteriormente aparecieron unos signos de interrogación, con duración de 800 ms en pantalla, para que el sujeto apretando una tecla del *mouse* indicara si el resultado era correcto o incorrecto. El tiempo máximo de respuesta fue de 1900 ms (Figura 2). Las operaciones se presentaron en 12 bloques de 14 problemas cada uno, con un breve descanso entre cada bloque. Al inicio de la sesión se realizó un entrenamiento con operaciones similares a las del experimento.

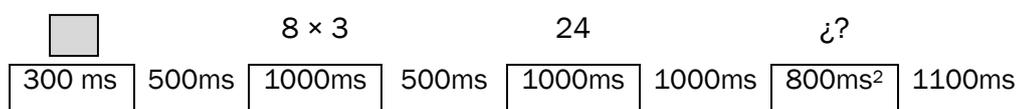


Figura 2. Esquema de la presentación de los estímulos en el paradigma para obtener el N400 aritmético

PARADIGMA PARA OBTENER EL N400 SEMÁNTICO

Para construir el paradigma de *priming* semántico se hizo una búsqueda de palabras que los niños conocieran. Las palabras fueron tomadas de las siguientes referencias: “Diccionario Infantil DIME” (Ávila, 1993), “¿Cómo usan los niños las palabras?” (Alva, Pérez, Mazón, Arias, Álvarez, et al., 2001), “La producción del lenguaje de niños mexicanos” (Alva & Hernández, 2001), “Libro de 4to de Ciencias Naturales” (SEP), “Libro de 5to de Ciencias Naturales” (SEP) y “Libro de 6to de Ciencias Naturales” (SEP). Las palabras seleccionadas fueron las correspondientes al campo semántico de animales y de comida.

De estas referencias se obtuvieron 234 sustantivos, de 2 a 6 sílabas, correspondientes al campo semántico de comida y 207 sustantivos, de 2 a 6 sílabas, correspondientes al campo semántico de animales. De este corpus se eliminaron las palabras en plural, diminutivos y palabras cuyo significado implicara gran número de miembros (p.e. pájaro, alimento, etc.), con lo

² A partir de la presentación de los signos de interrogación el niño tenía que contestar lo más rápido que pudiera, teniendo un máximo de 1900ms

que el corpus se integró por 298 sustantivos de 2 a 4 sílabas de ambos campos semánticos. Estas palabras fueron presentadas a 207 niños de 4to a 6to grado de una primaria pública, a quienes se pidió que escribieran una palabra relacionada con la palabra presentada. Las palabras que los niños escribieron se vaciaron a una base de datos, con un total de 61 686 palabras. Posteriormente se hizo el conteo de cada una de estas palabras para obtener el porcentaje de cada palabra relacionada. Para aplicar al paradigma, se decidió utilizar las palabras que cumplieran el criterio de que al menos 20% de los niños las hubieran relacionado con la palabra presentada. Así se obtuvieron 221 pares de palabras relacionadas. Posteriormente, para construir los pares relacionados, se seleccionaron sólo las palabras relacionadas que fueran sustantivos y que tuvieran el mismo número de sílabas que el sustantivo presentado (o *prime*). Para construir los pares no relacionados se usaron palabras que conocieran los niños. Una vez seleccionados los estímulos, se aplicaron a un nuevo grupo de niños (n=30) de los mismos grados escolares de la muestra del estudio. Este último grupo tuvo un 90.08% (DE 6.62) de aciertos en los pares relacionados y un 95.63% (DE 4.78) de aciertos en los pares no relacionados.

Para tener la misma cantidad de estímulos que en la tarea de *priming* aritmético, se presentaron 112 pares de palabras, de 2 a 4 sílabas, todas ellas sustantivos. A la mitad de las palabras que formaron la primera palabra del par (conocida como *prime*) le correspondió una palabra relacionada (p.e. pulga – perro) y a la otra mitad una palabra no relacionada (p.e. elefante – abogado). Se tomó la restricción de que la palabra *prime* tuviera el mismo número de sílabas que la palabra relacionada o no relacionada. Además, se presentaron 56 estímulos de relleno (*filler*) que consistieron en pares asociados (p.e. sapo – rana) y no asociados (collar – jarro), éstos se usaron para evitar que el niño formara estrategias al responder la prueba (p.e. pensar que en la secuencia de presentación de pares de palabras unas estaban relacionadas y otras no).

Los pares se presentaron palabra a palabra. La presentación fue pseudoaleatoria, con la restricción de que no hubiera más de 3 pares juntos de palabras relacionadas o no relacionadas.

Al principio de cada par se presentó un punto de fijación (un cuadrado) de 300 ms de duración para indicar al sujeto el comienzo de la tarea. Quinientos milisegundos después de que desapareció el punto de fijación, las palabras aparecieron en forma secuencial, cada una duró 1000 ms con un intervalo interestímulo de 500 ms, La segunda palabra fue seguida por una

pantalla negra que permaneció 1000 ms y posteriormente aparecieron unos signos de interrogación, con duración de 800 ms en pantalla, para que el sujeto apretando una tecla del *mouse* indicara si las palabras estaban relacionadas o no. El tiempo máximo de respuesta fue de 1900 ms (Figura 3).

Las palabras se escribieron con letra mayúscula en fuente Arial con tamaño 32, se presentaron en el centro de un monitor de computadora, con letras color gris claro y fondo negro, de la siguiente forma: palabra (*prime*) y palabra (blanco o no blanco, según el caso).

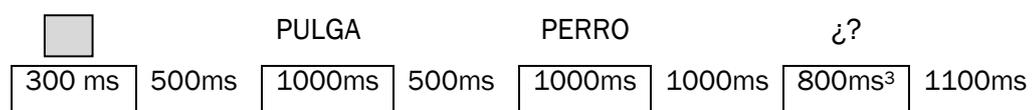


Figura 3. Esquema de la presentación de los estímulos en el paradigma para obtener el N400 semántico

Los pares de palabras se presentaron en 12 bloques de 14 pares cada uno, con un breve descanso entre cada bloque. Al inicio de la sesión se realizó un entrenamiento con pares de palabras similares a las del experimento. Se registró la precisión de la respuesta y el tiempo de reacción para cada par de palabras. Se contrabalanceó el botón del *mouse* con el que contestó el niño.

Ambas tareas fueron de verificación retrasada más que de producción o verificación estándar con el objetivo de prevenir la respuesta motora mientras los sujetos percibían y procesaban tanto las operaciones como las palabras.

La presentación de las tareas de *priming* aritmético y semántico también se contrabalanceó y se aplicaron ambas tareas en una misma sesión. En ellas los niños estuvieron sentados a 70 cm de la pantalla con un ángulo visual de 0.8°.

³ A partir de la presentación de los signos de interrogación el niño tenía que contestar lo más rápido posible (máximo 1900 ms)

OBTENCIÓN DE LOS PRE

El electroencefalograma se registró con una gorra “Quik-Cap” con 31 electrodos de plata/cloruro de plata colocados de acuerdo al Sistema Internacional 10-20. Se utilizó como referencia a los lóbulos auriculares (A1/A2) cortocircuitados. La impedancia de los electrodos se mantuvo por debajo de 5 k Ω . Se registró el electrooculograma (EOG) poniendo un electrodo en el canto externo del ojo izquierdo y en la región supraorbitaria del mismo ojo; el EOG se registró para facilitar el rechazo de los artefactos producidos por el movimiento ocular. El ancho de banda de los amplificadores fue de 0.3-30 Hz, con un factor de ganancia de 1000x. El intervalo de muestreo del EEG fue de 5 ms, y se tomó una época (segmento de EEG sincronizado con el estímulo) de 1180 ms con un tiempo pre-estímulo de 100 ms. La estimulación se realizó con el software STIM2 sincronizado con un equipo de registro NeuroScan.

Se obtuvieron los PRE a la solución de cada multiplicación en la tarea aritmética, y a la segunda palabra de cada par en la tarea semántica.

El análisis de los PRE se hizo fuera de línea. Primero se corrigieron los artefactos producidos por movimientos oculares por medio del algoritmo incluido en el software del NeuroScan. Posteriormente se seleccionaron solamente los segmentos de EEG relacionados con los estímulos presentados. Se corrigió la línea base y la tendencia del potencial. Se hizo un análisis automático para rechazar los segmentos que contenían artefactos por movimientos o que sobrepasaran los 80 μ V en cualquier derivación, también se hizo un análisis por medio de inspección visual para rechazar segmentos con artefactos.

Sólo se escogieron los segmentos relacionados con respuestas conductualmente correctas y se promediaron por separado, dependiendo del estímulo presentado (solución correcta/incorrecta –en el paradigma aritmético- o relacionada/no relacionada –en el paradigma semántico-). El promedio de los segmentos usados para construir los PRE en cada sujeto fue de 34.

ANÁLISIS DE DATOS CONDUCTUALES DE LAS TAREAS DE REGISTRO DE PREs

Para explorar diferencias entre los grupos en las medianas (Me) de los tiempos de reacción (TR) y en el porcentaje de respuestas correctas en ambas tareas, se utilizó un ANOVA-Mixto de un factor.

ANÁLISIS DE DATOS ELECTROFISIOLÓGICOS

Para reducir el número de niveles y por ende los grados de libertad para el análisis estadístico, se agruparon los electrodos cercanos en regiones, cada región contenía el promedio de la amplitud registrada en 3 electrodos. Se formaron 10 regiones (excluyendo del análisis a FPz), con base en la dimensión anteroposterior (anterior y posterior), localización a partir de la línea media (lateral externo, paracentral y central) y lateralidad (derecha e izquierda) como se indica en la Figura 4.

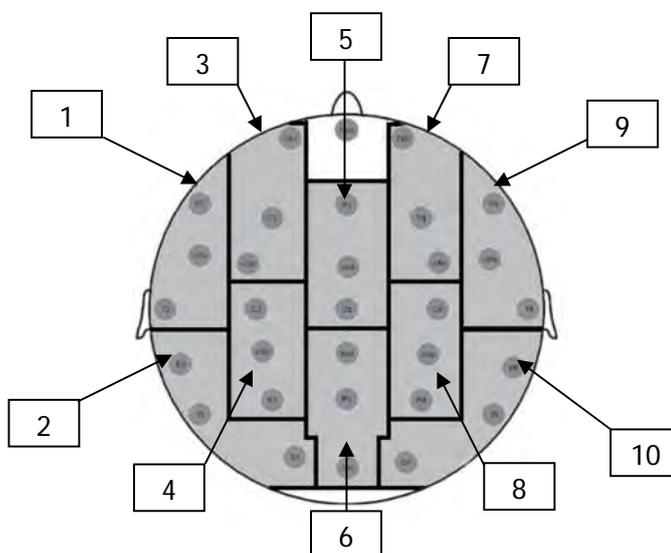
Para el análisis de los efectos de condición (que interesa para este estudio), se hicieron ventanas de la amplitud promedio cada 50 ms en una época de 100-900 ms para cada tarea y sujeto. Se llevó a cabo un Análisis de Varianza de Medidas Repetida (ANOVA-MR) de 4 vías con los siguientes factores: condición (soluciones correctas vs. incorrectas -N400_Aritmética- o palabras relacionadas vs. no relacionadas -N400_Semántica-), antero-posterior (regiones 1, 3, 7, 9 vs. regiones 2, 4, 8, 10), hemisferio (regiones izquierdas -1, 2, 3 y 4- vs. regiones derechas -7, 8, 9 y 10-) y lateralidad (lateral -1, 2, 9 y 10- vs. paracentral -3, 4, 7, 8-).

Los resultados obtenidos en los ANOVAs-RM de 4 vías dieron las siguientes ventanas para evaluar el efecto N400: N400_Aritmética: 350-450 ms y N400_Semántica: 300-500 ms. En estas ventanas se llevó a cabo un ANOVA Mixto de 5 vías con los siguientes factores: grupo (NLN vs. NTL/Ca), condición, antero-posterior, hemisferio y lateralidad. En los casos apropiados se hizo la corrección Huynh-Feldt.

Para analizar los electrodos de la Línea Media, se decidió aplicar un ANOVA-Mixto de 3 vías con los siguientes factores: grupo (NLN vs. NTL/Ca), Condición (soluciones correctas vs. incorrectas -N400_Aritmética- o pares relacionados vs. no relacionados -N400_Semántica-) y 3

regiones (FPz, región central anterior -5- y región central posterior -6-). En los casos apropiados se hizo la corrección Huynh-Feldt.

En cualquiera de los análisis, cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) se determinó dónde estaban tales diferencias mediante un análisis post-hoc con las Diferencias Significativas Mínimas -Least Significant Difference-(LSD).



1. Lateral anterior izquierdo: promedio de F7, FT1 y T3
2. Lateral posterior izquierdo: promedio de T31, P7 y O1
3. Intermedio lateral anterior izquierdo: promedio de FP1, F3 y C3a
4. Intermedio lateral posterior izquierdo: promedio de C3, C3P y P3
5. Línea media anterior: promedio de Fz, CzA y Cz
6. Línea media posterior: promedio de PzA, Pz y Oz
7. Intermedio lateral anterior derecho: promedio de FP2, F4 y C4a
8. Intermedio lateral posterior derecho: promedio de C4, C4P y P4
9. Lateral anterior derecho: promedio de F8, FT2 y T4
10. Lateral posterior derecho: promedio de T41, P8 y O2

Figura 4. Regiones en que se agruparon los electrodos.

ANÁLISIS DE LATENCIA DEL COMPONENTE N400

El pico de latencia de N400 se determinó en la deflexión más negativa en las regiones de la línea media en la ventana de 350-450 ms para la tarea aritmética y en la ventana de 300-500

para la tarea semántica. Para evaluar las diferencias entre los grupos se usó un ANOVA Mixto con los siguientes factores: grupo (NLN vs. NTL/Ca), Condición (soluciones correctas vs. incorrectas -N400_Aritmética- o pares relacionados vs. no relacionados -N400_Semántica-) y 2 regiones (región línea media anterior -5- y región línea media posterior -6-). En los casos apropiados se hizo la corrección Huynh-Feldt.

RESULTADOS

CONDUCTUALES DE LAS TAREAS DE REGISTRO DE PRE

Tarea aritmética: No se encontraron diferencias significativas entre los grupos en lo que respecta al efecto principal de porcentaje de respuestas correctas (Lambda de Wilks 1.00, $F(1, 30)=0.002$, $p=0.964$). El efecto grupo fue estadísticamente significativo ($F(1, 30)=7.933$, $p=0.009$) lo que refleja que el grupo de NLN presentó mayor porcentaje de respuestas correctas que los niños NTL/Ca, para ambos tipos de soluciones (Soluciones correctas: NLN $\bar{X}=86.03\%$, NTL/Ca $\bar{X}=74.59\%$; Soluciones incorrectas: NLN $\bar{X}=86.24\%$, NTL/Ca $\bar{X}=74.66\%$). Con respecto a los TR, tampoco se encontraron diferencias significativas entre los grupos (Lambda de Wilks 0.967, $F(1, 30)=1.014$, $p=0.322$), sólo se mostró la tendencia de que el grupo de NLN presentara menores tiempos de reacción en comparación con los NTL/Ca, para ambos tipos de soluciones (Soluciones correctas: NLN Me=418.09 ms, NTL/Ca Me=424.37 ms; Soluciones incorrectas: NLN Me=438.16 ms, NTL/Ca Me=470.22 ms).

Tarea semántica: En esta tarea tampoco se observaron diferencias significativas entre los grupos en el porcentaje de respuestas correctas (Lambda de Wilks 0.887, $F(1, 30)=3.83$, $p=0.06$). El efecto grupo fue estadísticamente significativo ($F(1, 30)=26.55$, $p=0.0001$) lo que refleja que el grupo de NLN presentó mayor porcentaje de respuestas correctas para ambas condiciones (Pares relacionados: NLN $\bar{X}=83.7\%$, NTL/Ca $\bar{X}=75.20\%$; Pares no relacionados: NLN $\bar{X}=92.52\%$, NTL/Ca $\bar{X}=75.93\%$). Para los TR, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (Lambda de Wilks 0.851, $F(1, 30)=5.25$, $p=0.029$), el grupo de NLN presentó menores TR en comparación con los NTL/Ca para ambas condiciones (Pares relacionados: NLN Me=373.56 ms, NTL/Ca Me=398.19 ms; Pares no relacionados: NLN Me=398.06 ms, NTL/Ca Me=468.41 ms).

MEDIDAS ELECTROFISIOLÓGICAS

DESCRIPCIÓN DE LOS PRE

Las figuras 5, 6, 9 y 10 ilustran los grandes promedios de los conglomerados de los PRE en las dos condiciones de ambas tareas: aritmética (Figs. 5 y 6) y semántica (Figs. 9 y 10) para los grupos NLN y NTL/Ca respectivamente. En las regiones anteriores en ambos grupos y condiciones, se observa un complejo N1-P2 seguido de una negatividad (N400) que tiene su mayor amplitud entre los 350-450 ms para las soluciones incorrectas en comparación con las correctas, en la tarea aritmética y entre los 300-500 ms para los pares no relacionados en comparación con los relacionados en la tarea semántica. La N1 tiene su máxima amplitud en el rango de los 140-150 ms, mientras que la P2 tiene su máxima amplitud en el rango de los 220-240ms. En las regiones posteriores en ambos grupos y condiciones, la morfología de los PRE es diferente que la de las zonas anteriores; en las posteriores laterales, primero se observa una gran positividad con un máximo en el rango de los 145-160 ms (P150) que es seguida por una negatividad con un máximo en el rango de los 205-225 ms, adicionalmente, se puede observar una positividad (P250) con un máximo de amplitud en el rango 250-350 ms. En las zonas posteriores paracentrales y centrales, se observa una positividad con un máximo en el rango de 250-285 ms. Estos componentes de las zonas posteriores son seguidos por una negatividad (N400) que tiene su máxima amplitud entre los 350-450 ms en la tarea aritmética y entre los 300-500 ms en la tarea semántica.

TAREA ARITMÉTICA

ANOVA-MIXTO DE 5 VÍAS

Los grandes promedios de los PRE a las soluciones correctas e incorrectas para cada grupo se muestran en las figuras 5 y 6. La diferencia entre ambas soluciones se observa en la onda N400_Aritmética (efecto N400). (Este efecto se ha reportado en adultos a los que se les presentaron operaciones similares a las usadas en este estudio.) Se encontró que el efecto principal de Condición fue significativo ($F(1, 30)=9.61, p=0.004$), así como las siguientes interacciones: Condición \times Grupo ($F(1, 30)=5.48, p=0.026$) y Condición \times Lateralidad \times Grupo

($F(1, 30)=5.44$, $p=0.027$), mientras que la interacción Condición \times Antero-posterior \times Hemisferio \times Grupo ($F(1, 30)=3.98$, $p=0.055$) tendió a ser significativa.

Los análisis post-hoc correspondientes señalaron que el grupo control mostró el efecto N400_Aritmético (\bar{X} de amplitud de Soluciones Correctas= $4.21\mu V$; \bar{X} de amplitud de Soluciones Incorrectas= $1.73\mu V$) (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -2.96 , $p=0.001$) mientras que el grupo NTL/Ca no lo mostró (\bar{X} de amplitud de Soluciones Correctas= $1.73\mu V$; \bar{X} de amplitud de Soluciones Incorrectas= $1.32\mu V$).

En el grupo control, el efecto se presentó en todas las regiones: Laterales Anteriores (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -2.48 , $p=0.005$); Paracentrales Anteriores (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -2.65 , $p=0.008$); Laterales Posteriores (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -3.38 , $p=0.001$), y Paracentrales Posteriores (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -3.34 , $p=0.002$). Respecto a la lateralidad, se encontraron mayores diferencias en las regiones paracentrales (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -4.05 , $p=0.0001$) que en las laterales (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -1.87 , $p=0.004$).

ANOVA-MIXTO DE 3 VÍAS

Para los electrodos de la Línea Media se encontró que el efecto principal de Condición fue significativo ($F(1, 30)=6.70$, $p=0.015$), así como la interacción Condición \times Grupo ($F(1, 30)=5.02$, $p=0.033$).

Los análisis post-hoc correspondientes señalaron que el grupo control mostró el efecto N400_Aritmético (\bar{X} de amplitud de Soluciones Correctas= $2.89\mu V$; \bar{X} de amplitud de Soluciones Incorrectas= $-0.10\mu V$) (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -2.99 , $p=0.002$) mientras que el grupo NTL/Ca no lo mostró (\bar{X} de amplitud de Soluciones Correctas= $0.49\mu V$; \bar{X} de amplitud de Soluciones Incorrectas= $0.27\mu V$).

En el grupo control, el efecto N400_Aritmético se presentó en: la Región Central Anterior (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -3.41 , $p=0.002$) y la Región Central Posterior (Diferencia de Amplitud_{LSD}= 3.86 , $p=0.003$).

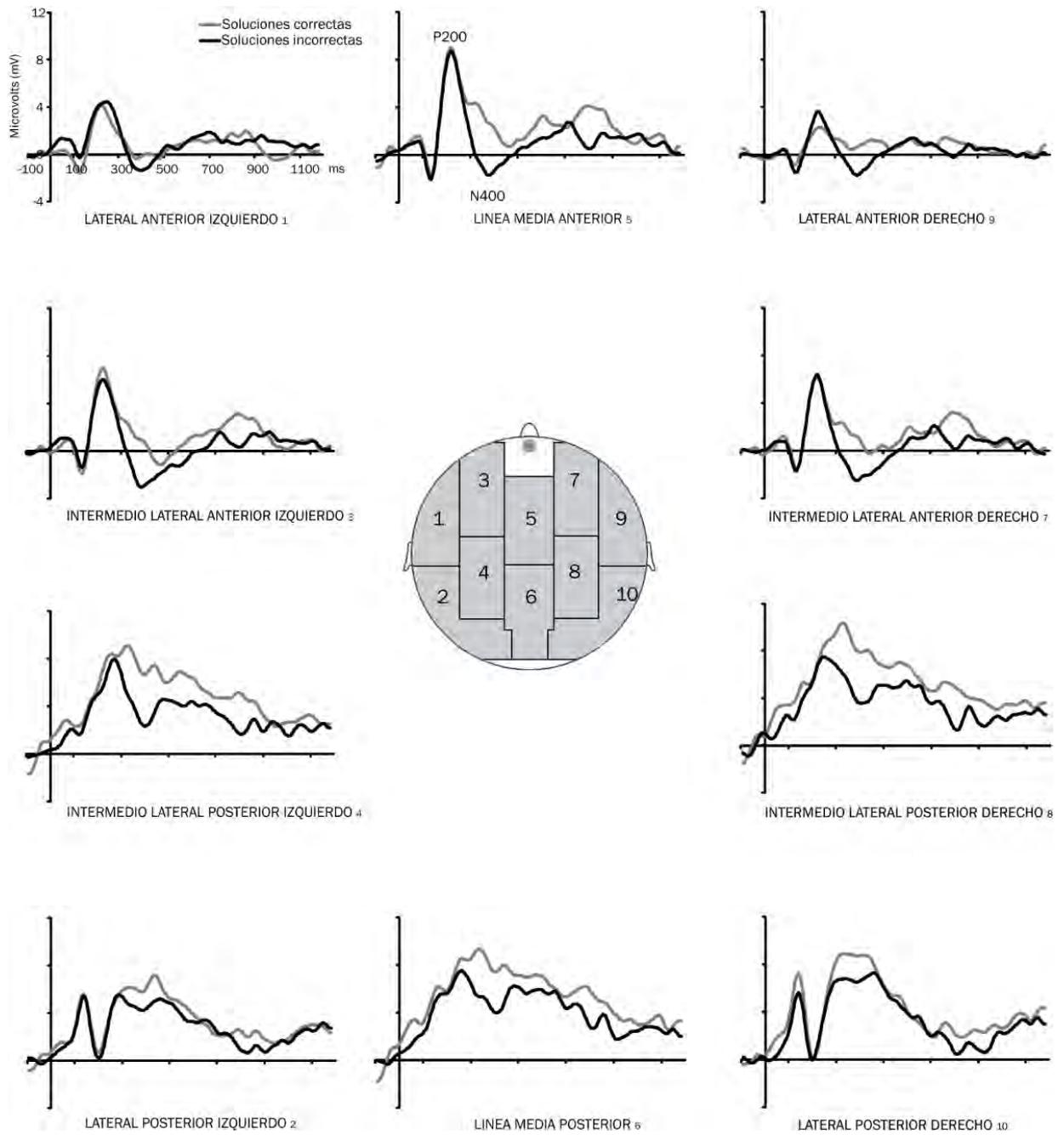


Figura 5. Gran promedio de los NLN en la tarea aritmética.

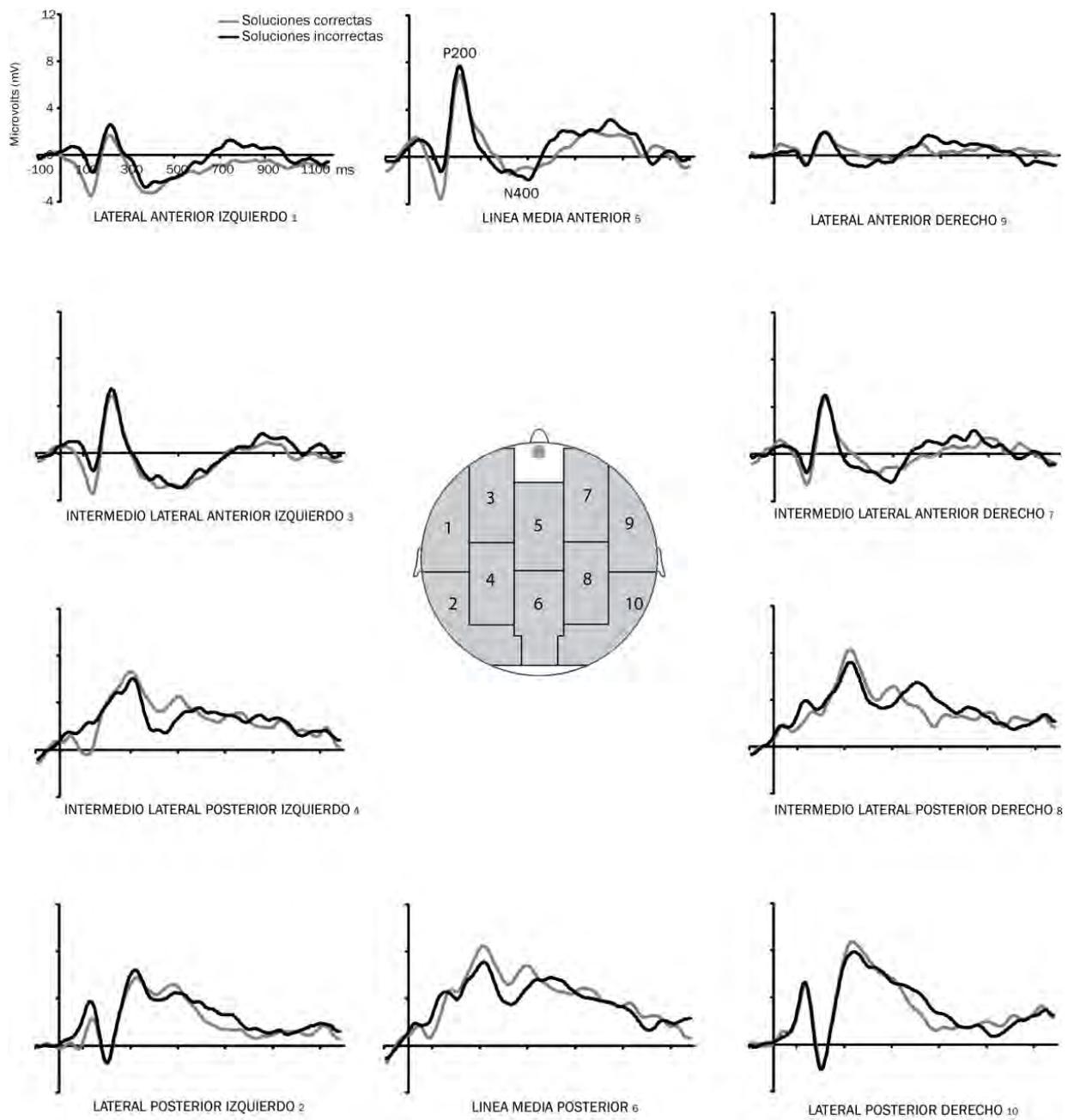


Figura 6. Gran promedio de los NTL/Ca en la tarea aritmética.

ANALISIS DE LATENCIAS

Se midió la latencia en los dos conglomerados de la línea media (conglomerados 5 y 6). La figura 7 muestra la comparación entre grupos en la condición de soluciones incorrectas. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($F(1, 30)=0.079$, $p=0.78$), sin embargo gráficamente se observa que el grupo de NTL/Ca presenta mayores latencias que los NLN en ambas condiciones (Figura 8).

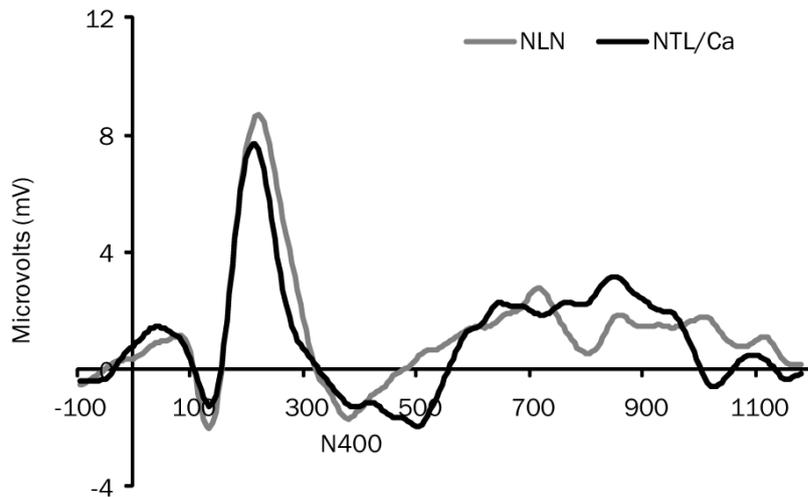


Figura 7. Comparación entre grupos en la condición de soluciones incorrectas en el conglomerado 5.

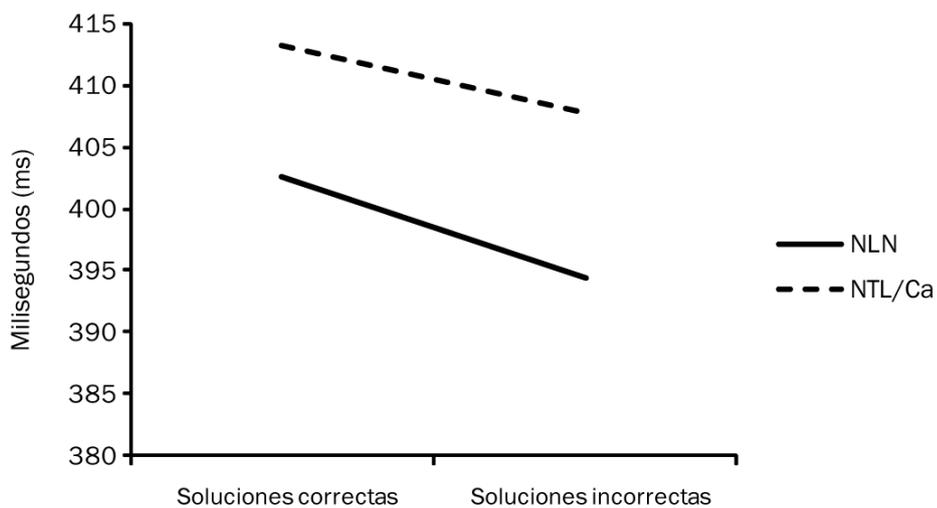


Figura 8. Latencias del componente N400 en ambos grupos y condiciones en el conglomerado 5.

TAREA SEMÁNTICA

ANOVA-MIXTO DE 5 VÍAS

Los grandes promedios de los PRE a los pares relacionados y no relacionados de los dos grupos en la tarea semántica se muestran en las figuras 9 y 10. La diferencia entre ambas soluciones se observa en la onda N400_Semántica (efecto N400). Al comparar a los dos grupos se encontraron las siguientes interacciones estadísticamente significativas: Condición × Grupo ($F(1, 30)=9.65$, $p=0.004$), Condición × Antero-posterior × Hemisferio × Grupo ($F(1, 30)=7.86$, $p=0.009$), y Condición × Lateralidad × Grupo ($F(1, 30)=5.15$, $p=0.031$), además el efecto principal de Grupo ($F(1, 30)=3.86$, $p=0.059$) tendió a ser significativo.

Los análisis post-hoc correspondientes señalaron que el grupo control mostró el efecto N400_Semántico (\bar{X} de amplitud de Pares Relacionados= $0.11\mu\text{V}$; \bar{X} de amplitud de Pares No Relacionados= $-2.39\mu\text{V}$) (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -2.50 , $p=0.004$) mientras que el grupo NTL/Ca no lo mostró (\bar{X} de amplitud de Pares Relacionados= $0.86\mu\text{V}$; \bar{X} de amplitud de Pares No Relacionados= $1.07\mu\text{V}$).

En el grupo control, el efecto N400_Semántico se presentó en: las Regiones Anteriores Izquierdas (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -2.17 , $p=0.04$) y Derechas (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -1.90 , $p=0.02$); Regiones Posteriores Izquierdas (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -2.63 , $p=0.007$) y Derechas (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -3.29 , $p=0.002$). Respecto a la lateralidad, se encontraron mayores diferencias en la regiones paracentrales (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -3.13 , $p=0.004$) que en las laterales (Diferencia de Amplitud_{LSD}= -1.86 , $p=0.007$).

ANOVA-MIXTO DE 3 VÍAS

Para los electrodos de la Línea Media se encontró que la interacción Condición × Grupo fue estadísticamente significativa ($F(1, 30)=7.70$, $p=0.009$). El análisis post-hoc correspondiente señaló que el grupo control mostró el efecto N400_Semántico (\bar{X} de amplitud de Pares Relacionados= $-1.82\mu\text{V}$; \bar{X} de amplitud de Pares No Relacionados= $-4.52\mu\text{V}$) (Diferencia

de $Amplitud_{LSD} = -2.71$, $p = 0.025$) mientras que el grupo NTL/Ca no lo mostró (\bar{X} de amplitud de Pares Relacionados = $-1.25 \mu V$; \bar{X} de amplitud de Pares No Relacionados = $0.55 \mu V$).

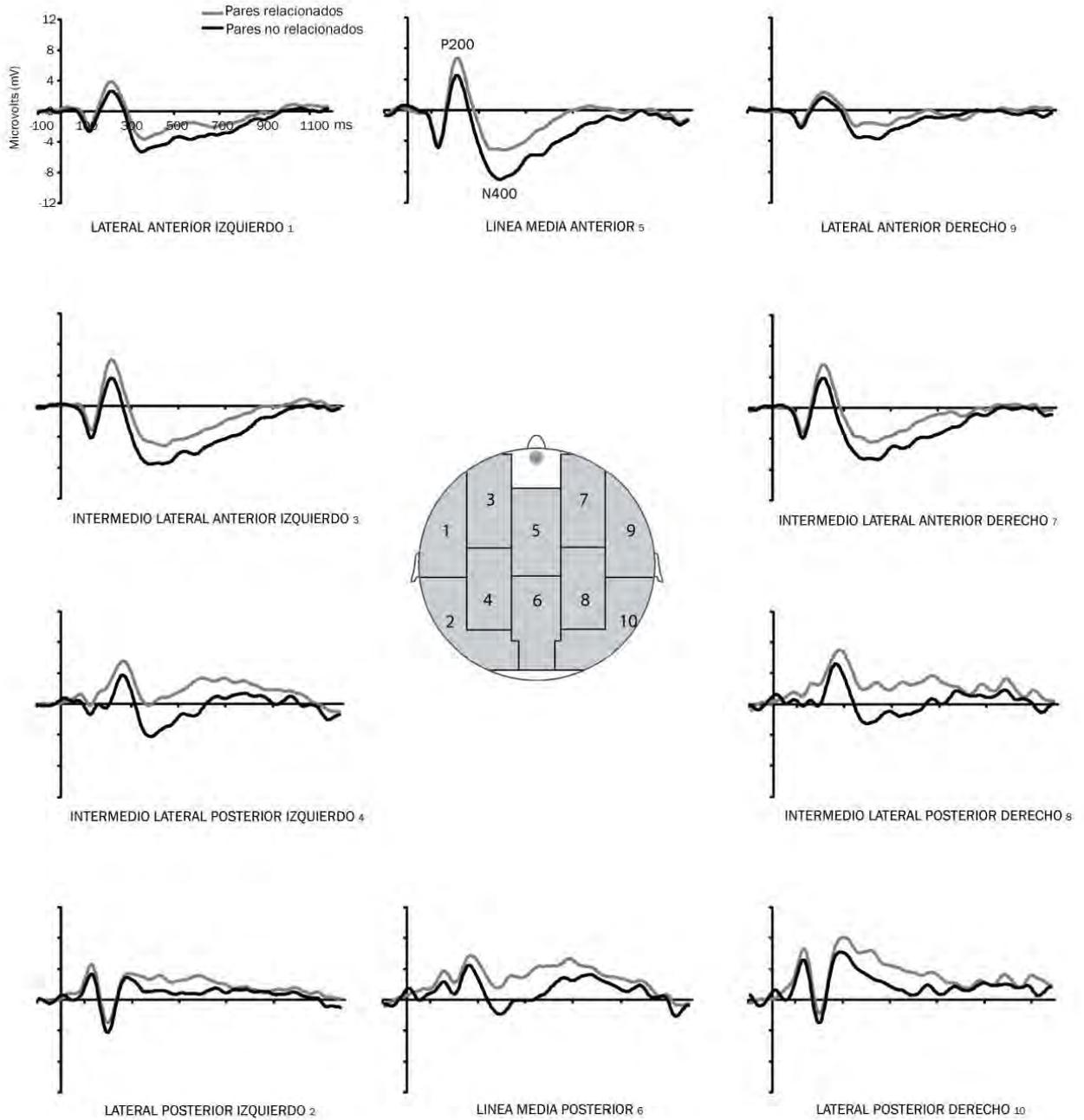


Figura 9. Gran promedio de los NLN en la tarea semántica.

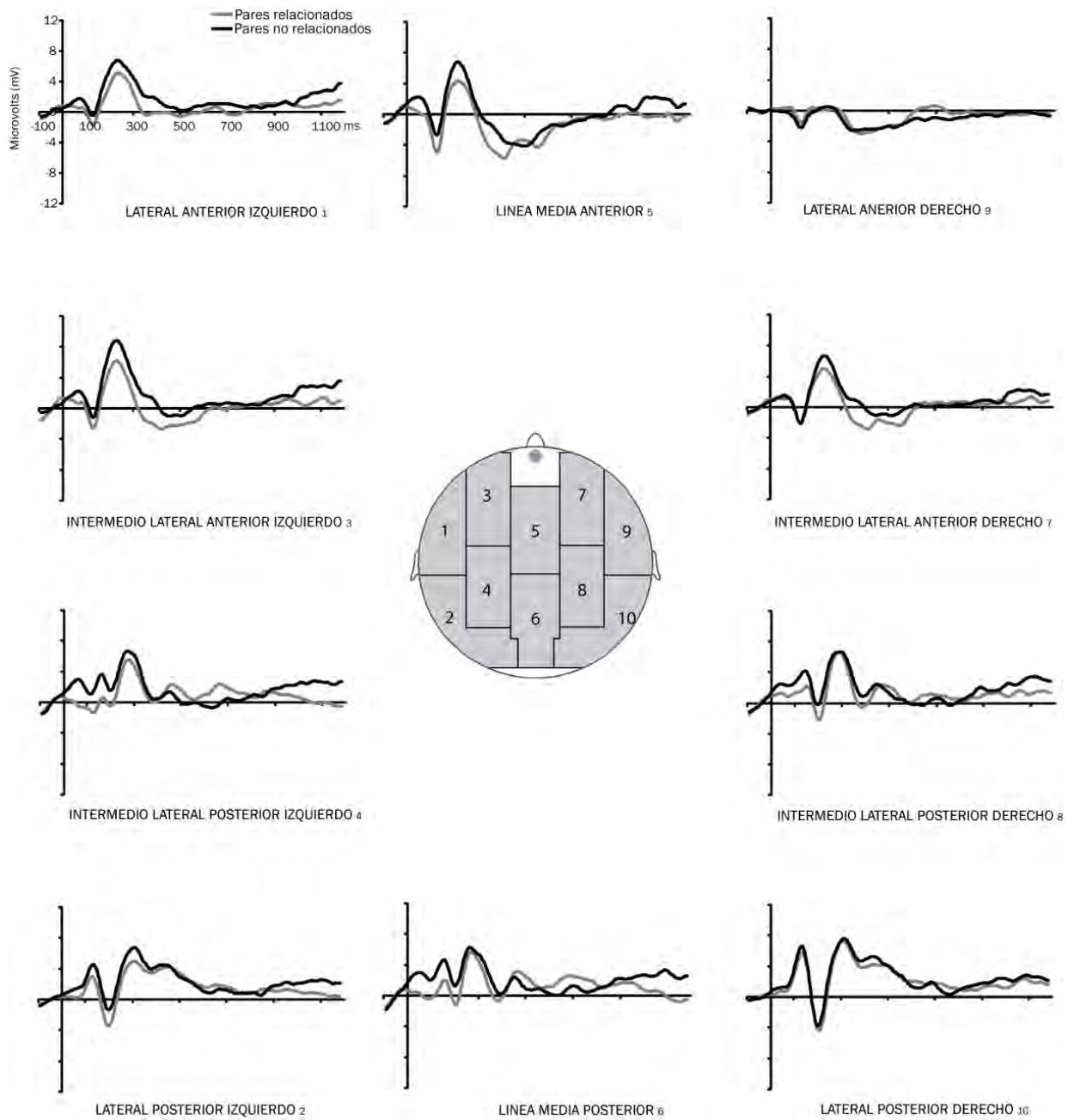


Figura 10. Gran promedio de los NTL/Ca en la tarea semántica.

ANÁLISIS DE LATENCIAS

Se midió la latencia en los dos conglomerados de la línea media (conglomerados 5 y 6). La figura 11 muestra la comparación entre grupos en la condición de pares no relacionados. Se

encontró que la interacción Condición×Grupo fue estadísticamente significativa ($F(1, 30)=5.91$, $p=0.02$). El análisis post hoc mostró que el grupo de NTL/Ca mostró mayores latencias en los pares no relacionados que el grupo de NLN (Diferencia de Amplitud_{LSD}=33.13, $p=0.007$) (Figura 12).

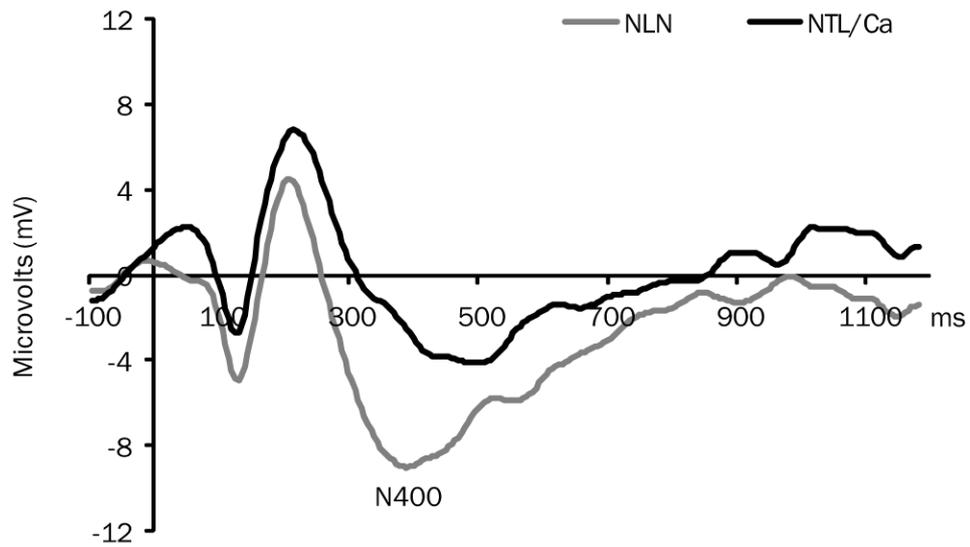


Figura 11. Comparación entre grupos en la condición de pares no relacionados en el conglomerado 5.

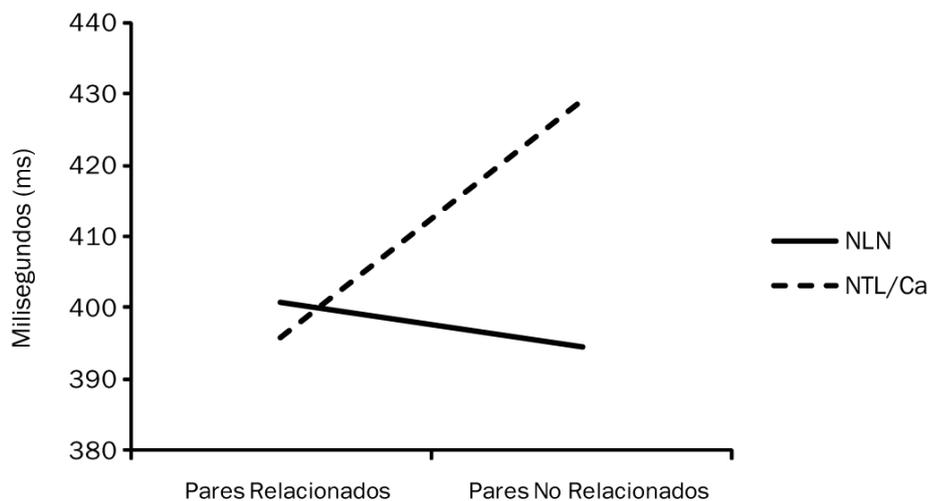


Figura 12. Latencias del componente N400 en ambos grupos y condiciones en el conglomerado 5.

Es interesante señalar que se hizo un análisis con los 31 electrodos tomados uno a uno en ambas tareas y los resultados fueron similares a los descritos anteriormente.

DISCUSIÓN

CONDUCTUAL (DATOS NEUROPSICOLÓGICOS)

Se ha encontrado que los niños con TL conforman una población muy heterogénea con respecto a las alteraciones que presentan, tales como: problemas en el procesamiento fonológico, problemas en atención sostenida, deficiencias perceptuales, problemas sintácticos, deficiencias aritméticas (Jordan & Hanich, 2000; Jordan & Montani, 1997; Geary, 2003; Ackerman & Dyckman, 1995) y en la memoria.

Las puntuaciones obtenidas con la BNTAL dieron cuenta de que los niños con TL presentan deficiencias en todas las subpruebas de lectura, entre las que se encuentran la velocidad y precisión de lectura de palabras de baja y alta frecuencia así como de pseudopalabras, la comprensión de textos, y la decisión léxica. Respecto a este tema, los modelos neuropsicológicos asumen que la lectura de palabras se procesa en forma distinta dependiendo de la frecuencia de la palabra. En el caso de las de alta frecuencia, éstas se leen con mayor velocidad debido a que tienen acceso directo vía un lexicón visual, mientras que para leer las palabras de baja frecuencia o las pseudopalabras se tiene que hacer uso de la ruta de decodificación grafema-fonema, para acceder al significado o para poderlas leer en voz alta (Ellis & Young, 1992). Las puntuaciones de velocidad obtenidas en estas pruebas por los niños TL/Ca, permiten inferir que usan la ruta de conversión grafema-fonema para la lectura de palabras independientemente de su frecuencia. El modelo de Spear-Swerling y Sternberg (1994) señala que los niños que presentan dificultad para acceder en forma automática al reconocimiento de la palabra, presentan una mala ejecución en la lectura y por lo tanto tienen problemas en la comprensión. La automatización ayuda a que los recursos mentales se enfoquen al entendimiento del significado del texto más que al reconocimiento de las palabras y por lo tanto se puede usar la lectura para adquirir nuevos conceptos e información. Una posible explicación de las bajas puntuaciones obtenidas por los NTL/Ca es que presentan problemas en la automatización que se refleja en una baja ejecución en la lectura, y problemas en la comprensión de textos escritos. Similarmente, Geary, Hamson y Hoard (2000) encontraron que los niños con dificultades tanto en la lectura como en las matemáticas son lentos para leer palabras de alta frecuencia. Ellos sugieren que esto puede deberse a que este tipo de niños presentan una pobre activación de las representaciones fonológicas o semánticas.

Los niños con TL de esta muestra también presentaron deficiencias en el procesamiento del cálculo aritmético. Con la BNTAL se encontró que los NTL/Ca, a diferencia de los NLN, tuvieron menor cantidad de aciertos en tareas de dictado y denominación de números, completamiento de series numéricas, comparación de números, resolución de operaciones aritméticas en forma oral, impresa y escrita, así como en la resolución de problemas aritméticos. Lo anterior concuerda con lo propuesto por Badian (1983) y Geary (1990, 2004) quienes mencionan que los niños con TL/Ca presentan déficits en el cálculo numérico posiblemente debidos a deficiencias en la *representación y recuperación de datos aritméticos* de la memoria semántica a largo plazo. También se encontró que los NTL/Ca presentaron mayores latencias para resolver operaciones aritméticas simples, lo que confirma sus deficiencias en la velocidad de procesamiento aritmético (Fuchs & Fuchs, 2002; Mussolin & Noël, 2008) y posiblemente usen estrategias inmaduras para llegar al resultado. La menor velocidad de procesamiento del grupo de NTL/Ca también se vio reflejada en las latencias de los PRE. En ambas tareas se encontró que este grupo presentó mayores latencias que el grupo de NLN, si bien en la tarea aritmética las diferencias no fueron estadísticamente significativas,.

En conclusión, neuropsicológicamente en el grupo de NTL/Ca se encontraron fallas tanto en velocidad como en precisión de la lectura y en la aritmética, con lo que se puede afirmar que para la muestra estudiada, todos los niños con TL también presentaron deficiencias aritméticas.

RESPUESTAS ELECTROFISIOLÓGICAS

PRIMING ARITMÉTICO EN NIÑOS

En la literatura se afirma que la presentación de multiplicaciones simples y su solución puede ser funcionalmente equivalente a una condición de *priming* en la que los operandos facilitan el reconocimiento de la solución en una red asociativa de memoria, de manera similar a cuando unas palabras facilitan el procesamiento de otras en una red de memoria semántica. Tomando en cuenta lo anterior, se puede predecir que para el material aritmético, las soluciones incorrectas deben recibir menor activación de los operandos que funcionan como facilitadores, en comparación con las soluciones correctas. Esta diferencia en la activación diseminada posiblemente se refleje en la amplitud del componente N400_Aritmético al igual que en los estudios de *priming* semántico, en donde se sabe que la amplitud de N400 Semántica es

inversamente proporcional a la cantidad de activación diseminada que origina un facilitador o *prime* (p. e. Deacon, Hewitt, Yang & Nagata, 2000). La amplitud de N400_Semántica es mayor si una palabra no está semánticamente relacionada con el contexto precedente, y es gradualmente más pequeña conforme se incrementa la relación entre la palabra blanco y el contexto. De acuerdo a Niedeggen, Rösler y Jost (1999), la amplitud del efecto N400_Aritmético se puede usar para estudiar la asociación de las representaciones, y su topografía puede dar información acerca de las diferencias o similitudes de los almacenes específicos de memoria para cada material (aritmético o semántico).

Uno de los objetivos del estudio fue describir la respuesta electrofisiológica de los niños durante una tarea de *priming* aritmético. Se encontró que en los NLN, las multiplicaciones con soluciones incorrectas provocaron una negatividad de los PRE de mayor amplitud que para las soluciones correctas. Esta respuesta electrofisiológica llamada efecto N400_Aritmético presentó características similares a las reportadas en adultos a quienes se les presentaron multiplicaciones simples con soluciones correctas e incorrectas (Niedeggen & Rösler, 1999; 1999a; Niedeggen, Rösler & Jost, 1999; Jost, Henninhausen & Rösler, 2004). Este hallazgo electrofisiológico es consistente con reportes que indican que los niños a partir de los 9 años de edad recuperan de la memoria los resultados aritméticos (Imbo y Vandierendonck, 2008). Podemos decir que la información se recupera de la memoria debido a que son multiplicaciones simples que no requieren de otras operaciones, como mantener resultados intermedios en la memoria.

Es interesante señalar que la respuesta electrofisiológica a multiplicaciones simples con soluciones correctas e incorrectas presenta algunas diferencias entre niños y adultos:

1) Topografía de la N400_Aritmética: Niedeggen et al. (1999, 1999a) y Jost, Henninhausen y Rösler (2004) encontraron la N400_Aritmética con topografía centroparietal parecida a la de la N400_Semántica. En un estudio piloto que hicimos con adultos se encontró que éstos mostraron una N400 con topografía posterior similar a la N400_Aritmética descrita en la literatura (ver Prieto-Corona, Rodríguez-Camacho, Silva-Pereyra, Marosi, Fernández y Guerrero, 2010). En contraste, en los NLN encontramos una N400_Aritmética con topografía ampliamente distribuida. Probablemente, las diferencias topográficas entre ambos grupos podrían deberse a que en los niños se encuentran involucradas más áreas corticales en la recuperación de datos aritméticos. Alternativamente, las diferencias topográficas entre niños y adultos pueden

explicarse por las diferencias anatómicas y fisiológicas entre los cerebros de niños y adultos.

2) Diferencias de amplitud y latencia entre los grupos: La mayor amplitud del componente N400_Aritmético en los NLN respecto a los adultos, puede reflejar el uso de una mayor cantidad de recursos, además de que puede ser un signo electrofisiológico de mayor esfuerzo cognoscitivo para identificar un resultado como correcto. La mayor latencia puede reflejar un procesamiento más lento en la recuperación de datos aritméticos.

3) LPC o P300: En estudios con adultos se reporta que para los resultados incorrectos se observa una N400_Aritmética seguida por una P300 o LPC de topografía centro-parietal. Los autores interpretan esta positividad como el reflejo de que las soluciones incorrectas provocan una especie de “sorpresa” o signo de implausibilidad que no provoca el material semántico (Niedeggen, Rösler & Jost, 1999). Posiblemente porque las multiplicaciones simples se restringen a un resultado en particular a diferencia del material semántico en el que una palabra se relaciona semánticamente con una gran cantidad de palabras. En nuestro estudio piloto con adultos, a quienes se aplicó el mismo paradigma aritmético sí se encontró esa positividad. Sin embargo, en los NLN se encontró una LPC para los **resultados correctos**. Una posible interpretación de lo anterior es que los niños no confían totalmente en las respuestas que tienen almacenadas en la memoria a largo plazo, y tuvieron la tendencia a verificar las soluciones que les eran más familiares a diferencias de las que no lo eran, como es el caso de los resultados incorrectos. Es relevante decir que el uso de procesos de recuperación es mediado por el criterio de confianza, este criterio representa un estándar interno en el que el niño calibra la confianza en lo correcto de la respuesta que recuperó de la memoria (Geary, 2001).

DIFERENCIAS EN EL EFECTO N400 ARITMÉTICO Y SEMÁNTICO ENTRE LOS NIÑOS LECTORES NORMALES Y LOS NIÑOS CON TL/Ca

En la literatura se propone que el efecto N400 en tareas de *priming* refleja un proceso de recuperación de la información de la memoria a largo plazo. En estudios de *priming*, el efecto N400 se interpreta como un índice de activación diseminada cuya base se encuentra en la teoría de la activación diseminada de Collins y Loftus (1975). Asumiendo esta teoría, un supuesto razonable sería que la N400 debería ser de mayor amplitud ante las soluciones aritméticas incorrectas y ante los pares de palabras no asociados en los NLN en quienes hay un

adecuado procesamiento de recuperación de la información. En efecto, a diferencia de los NTL/Ca, en los NLN se observó que ambas tareas (semántica y aritmética) provocaron el efecto N400, es decir, la negatividad fue mayor para los pares no relacionados en comparación con los pares relacionados, y las soluciones incorrectas presentaron mayor negatividad en comparación con las correctas.

Es importante señalar que este efecto tuvo una latencia diferente en ambas tareas, en la aritmética el efecto estuvo entre los 350-450 ms y en la semántica entre los 300-500ms. Estos efectos en la latencia son similares al efecto N400_Semántico reportado tanto en adultos como en niños (p.e Kutas & Hillyard, 1984; Silva-Pereyra et al., 1999; Dyckman, Ackerman, Loizou & Casey, 2001) y N400_Aritmético reportado en adultos (Niedeggen & Rösler, 1999; Niedeggen, Rösler & Jost, 1999). Las diferencias en latencia entre las tareas quizá podrían deberse a que en los niños las palabras, a diferencia de los resultados de las multiplicaciones, se recuperan de forma más lenta. En cuanto a la amplitud de los dos componentes, aunque no se hizo un análisis estadístico, fue evidente la mayor amplitud de N400_Semántica respecto a la Aritmética lo que posiblemente esté relacionado con un mayor número de neuronas involucradas en la recuperación del material semántico que del aritmético.

En relación con la falta de efecto N400 tanto para el *priming* semántico como para el aritmético en los NTL/Ca, se puede decir lo siguiente. En niños mexicanos con TL, de edades similares a los del presente estudio, quienes realizaron una tarea de lectura de oraciones con terminaciones congruentes e incongruentes, Rodríguez et al. (enviado) encontraron que los niños lectores normales presentaron un efecto N400 que los niños del grupo TL no mostraron. Los autores interpretaron este hallazgo como el resultado de que los TL presentan una búsqueda ineficiente en las redes léxicas y a que los procesos perceptuales de este grupo son deficientes. Similarmente, Dyckman, Ackerman, Loizou, Casey (2001) en un grupo de niños que tuvieron bajo peso al nacer y problemas en el crecimiento no encontraron el efecto N400 en una tarea de *priming* de decisión léxica, interpretándolo como una falta de automatización en el reconocimiento de palabras por parte de este grupo de niños. El presente estudio extiende el hallazgo de la falta de efecto N400 en el contexto de oraciones, a una tarea de juicio semántico con pares de palabras, en niños con TL. Esto puede sugerir que dichos niños no se benefician del contexto oracional ni del *prime* que da la primera palabra de un par, para lograr un adecuado procesamiento semántico.

Los NTL/Ca no presentaron un efecto N400_Aritmético (es decir no hubo diferencias significativas entre la respuesta a las soluciones correctas vs. las incorrectas), lo que podría interpretarse como una deficiencia en la recuperación de datos aritméticos en este grupo de niños. Aunque en las respuestas conductuales los NTL/Ca solo mostraron una tendencia a presentar mayor número de errores y mayores tiempos de reacción que los NLN, pensamos que conductualmente no hubo diferencias significativas entre los grupos, debido a que en este estudio las respuestas conductuales fueron diferidas en ambas tareas.

En conclusión, podemos decir que la aparición de los efectos N400 en el grupo de NLN corrobora la idea de que estos niños pueden recuperar la información de la memoria a largo plazo. La falta de dicho efecto en el grupo de NTL/Ca pudiera ser el reflejo electrofisiológico de sus deficiencias para recuperar información semántica y aritmética almacenada en la memoria a largo plazo.

CONCLUSIÓN

Por primera vez en la literatura, en esta tesis se encontró en los PRE de niños normales el efecto N400_Aritmético reportado para los adultos. A diferencia de los adultos, en los niños, este efecto mostró diferente topografía, y no estuvo seguido de la LPC o P300 para los resultados incorrectos. Esto sugiere que los niños, al igual que los adultos, recuperan de la memoria datos aritméticos simples, aunque presentan características diferentes posiblemente debidas a las diferencias anatómicas y fisiológicas existentes entre los grupos.

Los niños del grupo con TL/Ca, no presentaron el efecto N400_Aritmético ni el Semántico, lo que puede reflejar una dificultad en la recuperación del material tanto semántico como aritmético de la memoria a largo plazo, que quizá subyace a sus deficiencias en estos dos procesos.

Aunque no se encontraron diferencias significativas en las latencias entre los grupos en la tarea aritmética, el grupo NTL/Ca a diferencia del grupo NLN presentó mayores latencias en ambas tareas, lo que posiblemente sea el reflejo de un procesamiento más lento en los NTL/Ca.

REFERENCIAS

- Ackerman, P. & Dykman, R. (1995). Reading-disabled students with and without comorbid arithmetic disability. *Developmental Neuropsychology*. 11: 351-371.
- Altenmüller, E. & Gerloff, C. (1999) Psychophysiology and the EEG. Niedermeyer, E. & López da Silva, F. (Eds.) *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields*. New York: Lippincott Williams & Wilkins.
- Alva, E. & Hernández, E. (2001) *La producción del lenguaje de niños mexicanos: Un estudio transversal de niños de cinco a doce años*. México: UNAM.
- Alva, E., Pérez, B., Mazón, N, Arias, N., Álvarez, A., et al. (2001) *¿Cómo usan los niños las palabras?*. México: UNAM.
- American Psychiatric Association [APA] (2003) *Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales - Tratado Revisado (DSM-IV-TR)*. Barcelona: Masson.
- Artigas-Pallarés, J. (2002) Problemas asociados a la dislexia. *Revista de Neurología*. 34(S1): S7-S13.
- Ashcraft, M. (1992) Cognitive Arithmetic: a review of data and theory. *Cognition*. 44:75-106.
- Ashcraft, M. (1995) Cognitive Psychology and Simple Arithmetic: A Review and summary of new direction. *Mathematical Cognition*. 1(1):3-34.
- Ashcraft, M., Yamashita, T. & Aram, D. (1992) Mathematics performance in left and right brain-lesioned children. *Brain and Cognition*. 19(2): 208-252.
- Ávila, R. (1993) *Diccionario infantil: DIME*. México: Trillas.
- Badian, N. (1983) Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. In H. Myklebust (Ed.), *Progress in Learning Disabilities*. Vol. 5, pp. 235–264. New York: Stratton.
- Bull, R. & Johnston, R. (1997) Children's arithmetical difficulties: Contributions from processing speed, item identification, and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*. 63: 1-24.
- Bull, R., Johnston, R. & Roy, J. (1999) Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*. 15: 421-442.
- Collins, A. & Loftus, E. (1975) A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*. 82(6):407-428.

Cooney, J., Swanson, L. & Ladd, S. (1988) Acquisition of Mental Multiplication Skill: Evidence for the Transition between Counting and Retrieval Strategies. *Cognition and Instruction*. 5(4):323-345.

Deacon, D., Hewitt, S., Yang, Ch., & Nagata, M. (2000) Event-related potential indices of semantic priming using masked and unmasked words: evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process. *Cognitive Brain Research*. 9:137-146.

Dehaene, S. & Cohen, L. (1995) Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*. 1: 83-120.

Dehaene, S. (1992) Varieties of numerical abilities. *Cognition*. 44:1-42

Dehaene, S. (1996) The organization of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors method. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 8(1): 47-68.

Dehaene, S. (2000) Cap. 68 Cerebral bases of number processing and calculation. En Gazzaniga, M. (Ed.) *The New Cognitive Neurosciences*. MIT Press: Cambridge.

Dehaene, S. (2003) Número. Houdé, O., Kayser, D., Koenig, O., Proust, J. & Rastier, F. (Eds.) *Diccionario de Ciencias Cognitivas: Neurociencia, psicología, inteligencia artificial, lingüística y filosofía*. Buenos Aires: Amorrortu. pp. 316-323.

Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L. & Wilson, A. (2004) Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology*. 14: 218-224.

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. & Cohen, L. (2003) Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*. 20: 487-506.

Delazer, M., Domahs, F., Bartha, L., Brenneis, C., Lochy, A., Trieb, T. & Benke, T. (2003) Learning complex arithmetic: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*. 18(1):76-88.

Denburg, N. & Tranel, D. (2003) Cap. 9 Acalculia and disturbances of the body schema. En Heilman, K. & Valenstein, E. (Eds.) *Clinical neuropsychology*. University Press: Oxford.

Domahs, F., Domahs, U., Schlesewsky, M., Ratinckx, E., Verguts, T., Willmes, K. et al. (2007) Neighborhood consistency in mental arithmetic: Behavioral and ERP evidence. *Behavioral and Brain Functions*. 3(1):66-78.

Dong, X., Suhong, W., Yilin, Y., Ping, M., Feng, X., Wen, Y., et al. (2007) Age difference in numeral recognition and calculation: An Event-related Potential Study. *Child Neuropsychology*. 13:1-17.

Dong, X., Wang, S., Yang, Y., Ren, Y., Meng, P. & Yang, Y. (2007) Cognitive Development of Semantic process and mental arithmetic in childhood: An Event-Related Potentials. *Data Science Journal*. 6(S19):S535-S547.

- Dyckman, R., Ackerman, P., Loizou, P. & Casey, P. (2001) An event-related potential study of older children with an early history of failure to thrive. *Developmental Neuropsychology*. 18(2):187-212.
- Eger, E., Sterzer, P., Russ, M., Giraud, A. & Kleinschmidt, A. (2003) A supramodal number representation in human intraparietal cortex. *Neuron*. 37:719-725
- Ellis, A. & Young, A. (1992) *Neuropsicología cognitiva humana*. Barcelona: Masson.
- Etchepareborda, M. (1999) Abordaje neurocognitivo y farmacológico de los trastornos específicos del aprendizaje. *Revista de Neurología*. 28 (S2): S81-S93.
- Farré, A. & Narbona, J. (2003) *Escalas para la evaluación del Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (EDAH)*. Madrid: TEA.
- Fayol, M., Barrouillet, P. & Marinthe, C. (1998) Predicting arithmetical achievement from neuropsychological performance: A longitudinal study. *Cognition*. 68 (2): B63-B70.
- Fletcher, J., Forman, B., Shaywitz, S. & Shaywitz, B. (1999) Conceptual and methodological issues in dyslexia research: A lesson for developmental disorders. En Tager-Flusber, H. (Ed). *Neurodevelopmental disorders*. Cambridge: The MIT Press.
- Fletcher, M. & Kaufman, C. (1995) A mexican perspective on Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*. 29(9):530-534.
- Fuchs, L. & Fuchs, D. (2002) Mathematical problems-solving profiles of students with mathematics disabilities with and without comorbid reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities*. 35(6):564-574.
- Geary, D. & Hoard, M. (2001) Numerical and arithmetical deficits in learning-disabled children: relation to dyscalculia and dyslexia. *Aphasiology*. 15 (7): 635-647.
- Geary, D. (1990) A componential analysis of an early learning deficit in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*. 49 (3): 363-383.
- Geary, D. (1993) Mathematical Disabilities: Cognitive, Neuropsychological, and Genetic Components. *Psychological Bulletin*. 114(2): 345-362.
- Geary, D. (2004) Mathematics and Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*. 37 (1): 4-15.
- Geary, D., Brow-Thomas, C. & Yao, Y. (1992) Counting knowledge and skill in cognitive addition: A comparison of normal and mathematically disabled children. *Journal of Experimental Child psychology*. 54: 372-391.
- Geary, D., Hamson, C. & Hoard, M. (2000) Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concept deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology*. 77: 236-263.

- Geary, D., Hoard, M. & Hamson, C. (1999) Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*. 74: 213-239.
- Gelman, R. & Gallistel, C. (1978) *The Child's Understanding of Number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gillis, J., DeFries, J. & Fulker, D. (1992) Confirmatory factor analysis of reading and mathematics performance: a twin study. *Acta Genetic Med Gemellol*. 41(4): 287-300.
- Gross-Tsur, V., Manor, O. & Shalev, R. (1996) Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 38 (1): 25-33.
- Gruber, O., Indefrey, P., Steinmetz, H. & Kleinschmidt, A. (2001) Dissociating neural correlates of cognitive components in mental calculation. *Cerebral Cortex*. 11: 350-359.
- Hanich, L., Jordan, N., Kaplan, D. & Dick, J. (2001) Performance across different areas of mathematical cognition in children with learning difficulties. *Journal of Educational Psychology*. 93 (3): 615-626.
- Hillyard, S. & Picton, T. (1987) Electrophysiology of cognition. En Plum, E. (Ed.) *Handbook of physiology. Section I: Neurophysiology*. New York: American Physiological Society.
- Holcomb, P. (1993) Semantic priming and stimulus degradation: Implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*. 30:47-61.
- Holcomb, P., & Neville, H. (1991) Natural Speech processing: An analysis using Event-related brain Potentials. *Psychobiology*. 19:286-300.
- Imbo, I & Vandierendonck, A. (2008) Effects of problem size, operation, and working memory span on simple arithmetic strategies: differences between children and adults? *Psychological Research*. 72: 331-346.
- Isaacs, E., Edmonds, C., Lucas, A. & Gadian, G. (2001) Calculation difficulties in children of very low birth weight: a neural correlate. *Brain*. 124(9):1701-1707.
- Jordan, N. & Hanich, L. (2000) Mathematical thinking in second-grade children with different forms of LD. *Journal of Learning Disabilities*. 33(6):567-578.
- Jordan, N. & Montani, T. (1997) Cognitive arithmetic and problem solving: A comparison of children with specific and general mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*. 30:624-634.
- Jordan, N., Hanich, L. & Kaplan, D. (2003) A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development*. 74(3):834-850.

Jordan, N., Levine, S. & Huttenlocher, J. (1995) Calculation abilities in young children with different patterns of cognitive functioning. *Journal of Learning Disabilities*. 20: 336-341.

Jost, K., Henninghausen, E. & Rösler, R. (2004) Comparing arithmetic and semantic fact retrieval: Effects of problem size and sentence constraint on Event-related potentials. *Psychophysiology*. 41:46-59.

Kail, R. (1992) Processing speed, speech rate, and memory. *Developmental Psychology*. 28(5): 899-904.

Kirtley, T. & Dennis, C. (2005) Electroencephalogram biofeedback for reading disability and traumatic brain injury. *Child Adolescent Psychiatric Clinics of North America*. 14:137-162.

Knopik, V., Alarcón, M. & DeFries, J. (1997) Comorbidity of Mathematics and Reading Deficits: Evidence for a Genetic Etiology. *Behavior Genetic*. 27(5): 447-453.

Kutas, M. & Hillyard, S. (1980) Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*. 207:203-205.

Kutas, M. & Hillyard, S. (1984) Brain potentials reflect word expectancy and semantic association during reading. *Nature*, 307: 161-163.

Lee, K. (2000) Cortical areas differentially involved in multiplication and subtraction: a functional magnetic resonance imaging study and correlation with a case of selective acalculia. *Annals of Neurology*. 48(4):657-661.

Lewis, C., Hitch, G. & Walker, P. (1994) The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology*. 35(2): 283-292.

McCloskey, M., Aliminosa, D. & Sokol, S. (1991) Facts, rules, and procedures in normal calculation: Evidence from multiple single-patient studies of impaired arithmetic fact retrieval. *Brain and Cognition*. 17:154-203.

McCloskey, M., Caramazza, A. & Basili, A. (1985) Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*. 4:171-196.

McCloskey, M., Harley, W. & Sokol, S. (1991) Models of arithmetic fact retrieval: An evaluation in light of findings from normal and brain-damage subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*. 17: 377-397.

McLean, J. & Hitch, G. (1999) Working memory Impairments in Children with Specific Arithmetic Learning Difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*. 74: 240-260.

Mercer, C. (1987) *Students with learning disabilities*. E. U.: Merrill Publishing Company

- Miranda, A. & Gil-Llario, M. (2001) Las dificultades de aprendizaje en las matemáticas: concepto, manifestaciones y procedimientos de manejo. *Revista de Neurología Clínica*. 2(1): 55-71.
- Molko, N., Cachia, A., Riviere, D., Mangin, J., Bruandet, M., Le Bihan, D., Cohen, L. & Dehaene, S. (2003) Functional and structural alterations of the intraparietal sulcus in a developmental dyscalculia of genetic origin. *Neuron*. 40: 847-858.
- Montague, M. (1996) Student perception, mathematical problem solving, and learning disabilities. *Remedial and Special Education*. 18 (1): 46-53.
- Mussolin, C & Noël, M-P. (2008) Specific retrieval deficit from long-term memory in children with Poor Arithmetic facts abilities. *The Open Psychology Journal*. 1: 26-34.
- Naccache, L. & Dehaene, S. (2001) The priming method: imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes. *Cerebral Cortex*. 11(10):966-974
- Niedeggen, M. & Rösler, F. (1999) N400 effects related to incongruities in mental calculation problems. *Psychophysiology*. 33: S65.
- Niedeggen, M. & Rösler, F. (1999a) N400 effects reflect activation spread during retrieval of arithmetic facts. *Psychological Science*. 10(3): 271-276.
- Niedeggen, M., Rösler, F. y Jost, K. (1999) Processing of incongruous mental calculation problems: evidence for an arithmetic N400 effect. *Psychophysiology*. 36:307-324.
- Nöel, M. (2001) Cap. 20 Numerical Cognition. En: Brenda Rapp (Ed). *The Handbook of Cognitive Neuropsychology: What deficits reveal about the human mind*. USA: Psychology Press.
- Nöel, M., Fias, W. & Brysbaert, M. (1997) About the influence of the presentation format on arithmetical fact retrieval processes. *Cognition*. 63: 335-374.
- Orrantia, J., Martínez, J., Morán, M. & Fernández, J. (2002) Dificultades en el aprendizaje de la aritmética: un análisis desde los modelos cronométricos. *Cognitiva*. 14(2): 183-201.
- Pauli, P., Lutzenberger, W., Rau, H., Birbaumer, N., Rickard, T., Yaroush, R. & Bourne Jr., L. (1994) Brain potentials during mental arithmetic: effects of extensive practice and problem difficulty. *Cognitive Brain Research*. 2: 21-29.
- Pesenti, M., Seron, X. & Van Der Linden, M. (1994) Selective impairment as evidence for mental organization of arithmetical facts: BB, a case of preserved subtraction?. *Cortex*. 30(4): 661-671.
- Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X. & De Volder, A. (2000) Neuroanatomical substrates of Arabic number processing, numerical comparison, and simple addition: a PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 12: 461-479.

Picton, T. & Taylor, M. (2007) Electrophysiological evaluation of human brain development, *Developmental Neuropsychology*. 31(3): 249-278.

Prieto-Corona, B., Rodríguez-Camacho, M., Silva-Pereyra, J., Marosi, E., Fernández, T., Guerrero, V. (2010) Event-related potentials findings differ between children and adults during arithmetic-fact retrieval. *Neuroscience Letters*. 468: 220-224.

Räsänen, P. & Ahonen, T. (1995) Arithmetic disabilities with and without reading difficulties: A comparison of arithmetic errors. *Developmental Neuropsychology*. 11(3): 275-295.

Rodríguez, M., Harmony, T., Bernal, J., Fernández, T., Silva-Pereyra, J., Marosi, E., et al. (enviado) Event-related potentials during sentence reading in poor readers and in normal children.

Roland, P. & Friberg, L. (1985) Localization of cortical areas activated by thinking. *Journal of Neurophysiology*. 53 (5): 1219-1243.

Rourke, B. (1993) Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *Journal of Learning Disabilities*. 26: 214-226.

Rugg, M. & Coles, M. (1995). *Electrophysiology of mind: Event-related potentials and cognition*. New York: Oxford University Press.

Schacter, D. (1996) *Searching for memory: the brain, the mind, and the past*. New York: BasicBooks.

Shalev, R. (2004) Developmental Dyscalculia. *Journal of Child Neurology*. 19(10): 765-771.

Siegel, L. & Ryan, E. (1988) Development of grammatical-sensitivity, phonological, and short-term memory skills in normally achieving and learning disabled children. *Developmental Psychology*. 24(1): 28-37.

Siegel, L., & Ryan, E. (1989) The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*. 60:973-980.

Silva, J., Harmony, T., Bernal, J., Fernández, T., Rodríguez, M., Reyes, A., et al. (1995) Comparación entre las habilidades en la lectura de dos grupos con diferentes desempeño académico. *Revista Latina de Pensamiento y Lenguaje*. 3(1):65-81.

Silva-Pereyra, J., Harmony, T., Villanueva, G., Fernández, T., Rodríguez, M., Galán, L., Díaz-Comas, L., et al. (1999) N400 and lexical decisions: automatic or controlled processing?. *Clinical Neurophysiology*. 110:813-824.

Spear-Swerling, L. & Sternberg, R. (1994) The read not taken: An integrative theoretical model of reading disability. *Journal of Learning Disabilities*. 27(2):91-103.

- Stanescu-Cosson, R., Pinel, P., van De Moortele, P., Le Bihan, D., Cohen, L. & Dehaene, S. (2000) Understanding dissociations in dyscalculia: a brain imaging study of the impact of number size on the cerebral networks for exact and approximate calculation. *Brain*. 123: 2240-2255.
- Swanson, H. & Beebe-Frankenberger, M. (2004) The relationship between working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology*. 96(3): 471-491.
- Szűcs, D. & Csépe, V. (2004) Access to numerical information is dependent on the modality of stimulus presentation in mental addition: a combined ERP and behavioral study. *Cognitive Brain Research*. 19: 10-27.
- Szűcs, D. & Csépe, V. (2005) The effect of numerical distance and stimulus probability on ERP components elicited by numerical incongruencies in mental addition. *Cognitive Brain Research*. 22: 289-300.
- Talero, C., Espinosa, A. & Vélez, A. (2005) Dificultad de aprendizaje de la lectura en las escuelas de una localidad de Bogotá. *Acta de Neurología Colombiana*. 21(4):280-288.
- Temple, C. & Sherwood, S. (2002) Representation and retrieval of arithmetical facts: Developmental difficulties. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 55A(3):733-752.
- Temple, C. (1989) Digit dyslexia: A category-specific disorder in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology*. 6:93-116.
- Temple, C. (1991) Procedural dyscalculia and number fact dyscalculia: Double dissociation in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology*. 8: 155-176.
- Thompson, L., Detterman, D. & Plomin, R. (1991) Associations between cognitive abilities and scholastic achievement: Genetic overlap and environmental differences. *Psychological Science*. 2(3): 158-165.
- Wechsler, D. (1981) *WISC-R-Español: Escala de inteligencia revisada para el nivel escolar*. México: Manual Moderno.
- Yáñez, G. (2000) *Batería Neuropsicológica para la evaluación de niños con trastornos del aprendizaje: estandarización con niños de la zona metropolitana de la Ciudad de México* (Tesis doctoral). Mexico: UNAM.
- Yáñez, G., Bernal, J., Harmony, T., Marosi, E. & Rodríguez, M. (2002) Batería Neuropsicológica para niños con Trastornos del Aprendizaje de la Lectura (BNTAL): Obtención de Normas. *Revista de Pensamiento y Lenguaje*. 10(2): 249-269.
- Zhou, X., Chen, Ch., Dong, Q., Zhang, H., Zhou, R., Zhao, H., et al. (2006) Event-related potentials of single-digit addition, subtraction, and multiplication. *Neuropsychologia* 44: 2500-2507.